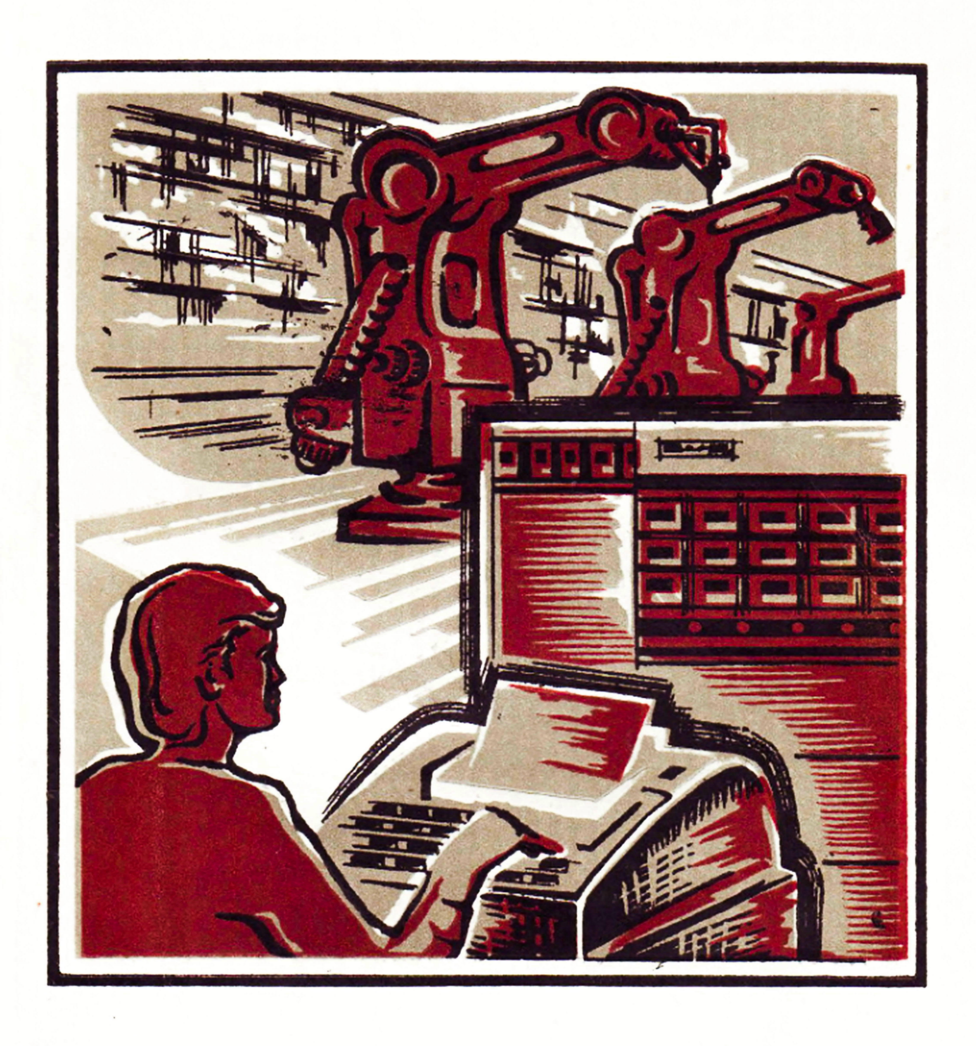
Е. П. ПОПОВ, А. С. ЮЩЕНКО

# РОБОТЫ И ЧЕЛОВЕК



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

ıni

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «Наука и технический прогресс»

Е. П. ПОПОВ, А. С. ЮЩЕНКО

# РОБОТЫ И ЧЕЛОВЕК



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1984

П58 Попов Е. П., Ющенко А. С. **Роботы и человек.**— М.: Наука, 1984, 112 с. (Серия «Наука и технический прогресс»).

Широкое внедрение роботов освобождает от утомительных и тяжелых операций на производстве, повышает производительность труда и качество изделий. Вместе с тем приводит к возникновению проблем не только технического, но и философско-психологического и социально-экономического плана. Встают вопросы о глубине аналогий между трудовой деятельностью человека и функционированием робота, между мышлением и искусственным интеллектом, вопросы о «взаимоотношениях» человека и робота и т. п. Рассмотрение этих и некоторых других вопросов, относящихся к робототехнике, составляет содержание книги.

Член-корреспондент АН СССР Е. П. Попов и кандидат технических наук А. С. Ющенко — специалисты в области автоматического управления и робототехники, авторы ряда книг по этим вопросам, занимаются созданием робототехнических систем, управляемых от ЭВМ, а также человеко-машинных систем.

15.2

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
И. М. МАКАРОВ

П $\frac{1502000000\text{-}009}{042(02)\text{-}84}$ 109-84-I

## ОГЛАВЛЕНИЕ



---

**Евгений Павлович Попов**

**Аркадий Семенович Ющенко**

**РОБОТЫ И ЧЕЛОВЕК**

Утверждено к печати редколлегией серии научно-популярных изданий АН СССР

Редактор издательства **Н. Б. Прокофьева**. Художник **А. М. Дроговой**
Художественный редактор **Н. Н. Власик**. Технический редактор
**Ф. М. Хенох**. Корректоры **В. А. Нарядчикова**, **В. А. Шварцер**

ИБ № 27715

Сдано в набор 20.09.83. Подписано к печати 24.11.83. Т-22305
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура обыкновенная
Печать высокая. Усл. печ. л. 5,88. Усл. кр. отт. 6,19. Уч.-изд. л. 6,4
Тираж 24.500 экз. Тип. зак. 3236. Цена 40 коп.

Издательство «Наука» 117864 ГСП-7, Москва В-485 Профсоюзная ул., 90.

2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

> Радикально изменит положение в области производительности труда широкое применение роботов, особенно на тех участках производства, где сейчас еще используется ручной, тяжелый физический, малоквалифицированный и монотонный труд. Это даст возможность сотням тысяч людей работать в других, более благоприятных условиях, получать большее удовлетворение от своего труда... Это приблизит решение одной из основных задач коммунистического строительства — задачи преодоления существенных различий между физическим и умственным трудом.
>
> Из материалов июньского ~~(1983 г.)~~
> Пленума ЦК КПСС

# ВВЕДЕНИЕ

Роботы, еще недавно действовавшие лишь на страницах научно-фантастических книг, в наше время стали реальностью, и область их применения с каждым днем расширяется. Сложились такие условия, что практические потребности в роботах совпали с научно-техническими возможностями их создания и применения на базе достижений современной научно-технической революции.

Научно-техническая революция на современном этапе связана в основном с развитием кибернетики, теории управления и соответственно электроники, вычислительной и информационной техники. Особенностью ее нового витка является робототехника, открывающая принципиально новые возможности в автоматизации трудовой деятельности человека, рассматриваемой как комплекс умственного и физического труда. Робот объединяет в себе элементы искусственного интеллекта (мини- и микро-ЭВМ), технические средства очувствления (датчики с микропроцессорами) и механические руки (многозвенные манипуляторы с управляемыми приводами в каждом шарнире-суставе). Робот — это машина, предназначенная для целенаправленного воздействия на объекты труда с помощью автоматических манипуляторов, имеющая устройства восприятия внешней обстановки и автоматического планирования своей деятельности.

Сочетание в робототехнической системе трех важнейших составляющих: 1) ЭВМ, автоматизирующей умственную деятельность человека; 2) информационного комп-

лекса, реализующего автоматическое восприятие внешней обстановки (среды), подобно органам чувств человека; 3) автоматических двигательных рабочих механизмов для воздействия на объекты трудовой деятельности человека — делает робототехнику принципиально новым средством завершения комплексной автоматизации любых производственных процессов, а также весьма полезной во многих областях непроизводственной деятельности человека.

На важность применения автоматических манипуляторов (промышленных роботов) в народном хозяйстве для повышения производительности труда, существенного снижения доли ручных работ и ускорения научно-технического прогресса было указано еще в решениях XXV съезда КПСС. Партия и Советское правительство постоянно проявляют заботу о развитии робототехники в СССР. Об этом говорит и постановление ЦК КПСС «О мерах по увеличению производства и широкому применению автоматических манипуляторов в отраслях народного хозяйства в свете указаний XXV съезда КПСС» *. На основе этого постановления была разработана программа развития промышленной робототехники в СССР и новая система подготовки и переподготовки специалистов в этой области.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», принятых на XXVI съезде КПСС [1], предусматривается на базе использования достижений науки и техники развивать производство и широкое применение промышленных роботов, встроенных систем автоматического управления с использованием микропроцессоров и мини-ЭВМ, создавать автоматические цехи и заводы, многофункциональные машины и оборудование, переналаживаемые при изменении технологических процессов и видов выпускаемой продукции.

Робототехнические системы создают принципиально новые возможности — освободить людей от многих видов тяжелого однообразного ручного труда, в том числе во вредных для здоровья и опасных условиях.

Создание и широкое применение роботов в совокупности с имеющимся автоматизированным производственным оборудованием — не только технико-экономическая задача, но и важная социальная проблема. С применением робототехники высвобождается много рабочих рук, необхо-

---

* См.: Правда, 1980, 9 авг.

димых нашему народному хозяйству, коренным образом изменяется характер труда на производстве; человек становится руководителем и настройщиком роботизированных технологических комплексов, что способствует стиранию граней между умственным трудом и физическим. Широкое применение автоматических манипуляторов и создание наряду с этим роботизированных производственных комплексов, как показала практика, сулит большой экономический эффект, так как при этом обеспечивается высокая производительность, ритмичность, качество, а также многосменность, быстрая переналаживаемость и т. п.

Если иметь в виду перспективу, можно сказать, что сфера применения робототехники столь же многообразна, как и сфера применения автоматики вообще. Как традиционные устройства автоматики используются теперь буквально во всех областях жизни и деятельности человека, так робототехнические устройства в качестве новой, более высокой ступени развития автоматики постепенно завоюют все области народного хозяйства, сферы быта и обслуживания населения. Этот процесс уже начался, а решениями партии и правительства в Советском Союзе ему открыта зеленая улица.

Робототехнические устройства, как уже говорилось, освобождают человека от однообразного, утомительного ручного труда (обычно это вспомогательные операции, трудно поддающиеся автоматизации традиционными средствами), и они незаменимы в экстремальных условиях — там, где нежелательно или невозможно присутствие человека из-за наличия вредных для здоровья высоких и низких температур или сильных излучений, пыли, газа и т. п., где имеется опасность взрывов, обвалов, затоплений, где нет атмосферы, обеспечивающей жизнедеятельность человека, т. е. в воде, в газовых средах, в вакууме, в открытом космосе.

Промышленные роботы получили за прошлую пятилетку (1976—1980 гг.) широкое применение в машиностроении и приборостроении. Теперь же, в 80-е годы, начинается их использование также в легкой, пищевой, химической, в строительной промышленности, в городском хозяйстве, при добыче угля, горных разработках, на транспорте.

В машиностроение включаются автомобильная, авиационная промышленность, вагоно- и локомотивостроение, двигателестроение, станкостроение, машиностроение для легкой, пищевой и химических отраслей, сельскохозяй-

ственное машиностроение и т. д.; в приборостроение, кроме собственно производства приборов,— электротехническая, электронная, радиотехническая промышленность и др. Отсюда чрезвычайная широта и разнообразие видов и масштабов технологических процессов, подлежащих роботизации в этих отраслях. Но в то же время можно найти много общего в них, если классифицировать не по отраслям, а по единым технологическим признакам. Тогда удается составить представление о некотором достаточно ограниченном количестве типов робототехнических систем, необходимых для использования во всем многообразии производственных и технологических процессов.

Это справедливо и для остальных сфер применения робототехники, указанных выше, в том числе для работы в экстремальных условиях. Однако если в обычных производственных условиях человек может наблюдать, контролировать и вообще вмешиваться в действия, переналаживать робототехнические системы, непосредственно находясь около них, то в экстремальных условиях он должен все это делать с помощью дистанционной системы наблюдения и управления, находясь на достаточно большом расстоянии от робота, действующего в опасной зоне. Соответственно появляется необходимость в дополнительных технических устройствах наблюдения, управления и линиях связи. Возникают вопросы эргономики и инженерной психологии — как сочетать в едином комплексе человека-оператора и робототехническую систему, иными словами, встают проблемы человеко-машинных (эргатических) роботизированных систем.

Принципиальный вопрос, возникающий при внедрении роботов,— это «взаимоотношение» между роботом и человеком в производственной и непроизводственной сферах.

Этот вопрос имеет давнюю историю. Легенды об искусственном человеке появились задолго до возникновения термина «робот». Уже в «Илиаде» Гомера (VI в. до н. э.) есть такие строки:

> ...Навстречу ему золотые служанки вмиг подбегали,
> Подобные девам живым, у которых
> Разум в груди заключен, и голос, и сила
> Которых самым различным трудам обучали
> Бессмертные боги...

Здесь роботы — служанки — представлены как помощники в трудовой деятельности. Однако чаще искусствен-

ные существа в романах повергают в ужас своего создателя, становятся врагами человека. Одна из причин роботобоязни — внешнее сходство «чудовища» с человеком (например, железный Вий у Гоголя).

Современные промышленные роботы, хотя и призваны выполнять двигательные и интеллектуальные функции за человека, по внешнему виду совсем не похожи на него и строятся как машины — орудия труда. Вовсе не требуется мозг робота, т. е. его центр управления (ЭВМ), оформлять в виде человеческой головы, а корпус — в виде человеческого тела. Руки робота тоже могут сильно отличаться по кинематике от человеческих рук. Они могут иметь не только поворотные сочленения (суставы), но и выдвижные звенья. Роботы могут реагировать на ультразвук, инфракрасные лучи, недоступные человеческим органам чувств. Они могут действовать в экстремальных условиях радиации, больших давлений на морских глубинах, в космическом вакууме, при высоких и низких температурах, в загазованных шахтах и т. д., где невозможно пребывание человека. Они могут без устали долго, ритмично и надежно совершать монотонные, утомительные для человека, тяжелые и неприятные операции.

Одним словом, возможности современных (и особенно перспективных) манипуляционных роботов во многом выходят далеко за пределы человеческих возможностей выполнения рабочих операций. Однако они пока не могут конкурировать с интеллектуальными возможностями человека по анализу обстановки, самообучению, накоплению опыта, принятию решений, а также не могут копировать тонкие движения кисти человеческой руки.

Но реализация элементов искусственного интеллекта в роботах началась, и это ставит серьезные вопросы о соотношении искусственного интеллекта робота и интеллекта человека, процесса трудовой деятельности робота и человека. В какой мере первый может имитировать функции второго? Может ли робот интеллектуально превзойти своего создателя? Каковы границы той сферы интеллектуальных возможностей и творческой трудовой деятельности, которые могут быть переданы машине?

Робототехника дает пример нового взаимоотношения между наукой и практикой, свойственного современному этапу научно-технической революции. Существо этого соотношения не изменилось: в конечном счете источником развития науки являются потребности технического про-

гресса, запросы промышленности, общественно-историческая практика. Однако форма соотношения между наукой и практикой стала иной. «Наука, порожденная потребностями материальной практики, техники, производства, развилась и окрепла настолько, что стала оказывать все усиливающееся по своей мощности обратное воздействие на породившую ее практику, не только опережая эту последнюю в своем поступательном движении, но и прокладывая путь для ее дальнейшего развития» [2, с. 119]. Если раньше основным созидательным фактором в технике была инженерная мысль, далеко не всегда опережавшая науку, но ставившая перед ней проблемы, то теперь ситуация изменилась. Наука стала активным фактором, она превратилась в непосредственную производительную силу общества. И робототехника не может развиваться иначе, как путем решения все новых научных задач.

## Глава I

# ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РОБОТАХ

Робототехника сейчас находится на начальной ступени своего развития. Ее первые успехи были подготовлены достижениями в различных областях науки и техники, но прежде всего — развитием математических методов и технических средств, облегчающих трудовую деятельность человека, также и интеллектуальную. Появление мощных вычислительных машин дало начало новому научному направлению, получившему название «искусственный интеллект». Совершенствование самих вычислительных машин, их элементной базы, увеличение памяти и быстродействия, появление микропроцессорных устройств также явились необходимой предпосылкой развития робототехники. С другой стороны, робототехника была подготовлена развитием теории механизмов, теории автоматического управления, широким внедрением автоматических систем, систем числового программного управления, дистанционно управляемых систем и систем, автоматически управляемых с помощью ЭВМ.

Прежде чем перейти к описанию проблем, порожденных возникновением и развитием робототехники, уточним, что мы подразумеваем под термином «робот», выясним, какие роботы уже существуют, а какие могут появиться в ближайшем будущем.

## ЧТО ТАКОЕ РОБОТ

Различные виды «механических людей» создавались еще в XVII, XVIII вв. Это были искусно сделанные механические автоматы, они могли выполнять простые движения, играть на музыкальных инструментах. Создавались и устройства, имитирующие движения человека, его рук или ног. Например, известно, что И. П. Кулибин для офицера, потерявшего ногу выше колена, сделал протез — ногу с шарниром в колене и ступне с механическим управ-

лением, и сделал ее настолько искусно, что офицер мог не только хорошо ходить, но и танцевать мазурку. Как видим, уже тогда создание человекоподобных, антропоморфных, устройств шло по двум направлениям — антропоморфных автоматов и антропоморфных устройств, управляемых человеком. В наше время эта тенденция получила новое развитие в автоматически действующих и дистанционно управляемых роботах.

С развитием техники антропоморфные автоматы качественно изменились, так как появилась возможность создания не только механических аналогий, отражающих внешний эффект движений человека, но и аналогий в поведении, в интеллектуальной трудовой деятельности человека и робота. Устройством, отражающим одну из особенностей живых существ — сохранение параметров внутреннего состояния при изменении внешних воздействий, был гомеостат Эшби (1940 г.). В начале 60-х годов в университете имени Дж. Гопкинса (США) было создано устройство, оборудованное радиолокатором и фотодатчиками, которое перемещалось по коридорам, поддерживая заданную дистанцию от стен. Оно могло самостоятельно находить электрическую розетку на стене, включаться в нее и подзаряжать свои аккумуляторы.

Подобные эксперименты породили гипотезу о том, что аналогии во внешнем поведении автомата и живого существа, быть может, являются более глубокими и отражают общие законы, свойственные как живым существам, так и автоматам. Возникновению такого рода гипотез немало способствовало становление кибернетики, которую ее основатель Н. Винер определил как науку об общих законах управления в живой природе, в технике и в обществе. Однако, признавая, что такие законы существуют и что их открытие дало значительный импульс развитию теории и техники управляемых и информационных систем, вместе с тем необходимо проявлять большую осторожность при проведении аналогий между живым существом и машиной.

Применительно к автоматам, воспроизводящим движения или особенности внешнего поведения живых существ, используется термин «робот», введенный чешским писателем Карелом Чапеком в романе «РУР» (Россумские Универсальные Роботы) и обозначавший механических людей, созданных для замены рабочих. Роботами называют автоматы, применяемые на производстве (начиная с

60-х годов нашего века) с целью замены человека в условиях тяжелого и опасного технологического процесса.

Промышленный робот предназначен для выполнения движений, производившихся до этого рукой рабочего. Здесь имеется аналогия движений человека и автомата по внешним проявлениям и конечным результатам. Но отсутствует аналогия во внутреннем «механизме» движений руки манипулятора (робота) и руки человека, а также в системе управления ими. Промышленные роботы, внедренные в производство, в большинстве своем действуют еще по жесткой программе, хотя и легко переналаживаемой. Таким образом, аналогия между человеком и автоматом в таких роботах (первого поколения) заканчивается внешним сходством в движениях рук. Роботы же следующих поколений — адаптивные, с элементами искусственного интеллекта,— позволяют говорить о более глубокой аналогии.

Вначале остановимся на самом понятии «искусственный интеллект». Его обычно связывают с новым научным направлением, одной из задач которого является воспроизведение на вычислительных машинах некоторых интеллектуальных функций человека. Это направление нашло свою практическую реализацию и в робототехнике. К функциям искусственного интеллекта можно, в частности, отнести анализ с помощью ЭВМ реальной технологической обстановки, например распознавание деталей на конвейере или чтение машиностроительного чертежа. Это может быть также принятие решений, обеспечивающих в конечном итоге выполнение поставленной перед ЭВМ задачи — доказательство теоремы, игра в шахматы и т. д., либо планирование технологических операций. Проводились работы, направленные на решение машиной таких сложных интеллектуальных задач, как перевод с одного языка на другой. Близкая проблема — понимание машиной человеческого языка, например языка оператора, дающего указания роботу. Однако это не означает, что современные ЭВМ могут моделировать любые закономерности мыслительной деятельности — речь идет лишь о принципиальной возможности моделирования такого рода.

Роботом в широком смысле называют электронную вычислительную машину, выполняющую операции, ранее считавшиеся привилегией интеллекта человека. Например, говорят «робот-переводчик», «робот-шахматист» и т. п. Здесь тенденция антропоморфизма проявляется уже в проведении аналогии между «интеллектуальной» рабо-

той машины и человека при отсутствии (в отличие от промышленного манипуляционного робота) двигательной, механической аналогии.

На определенном этапе развития техники манипуляторов, с одной стороны, и алгоритмов решения «интеллектуальных» задач — с другой, возникла возможность объединения обоих подходов. Одной из практических попыток в этом направлении была работа Г. Эрнста, который в 1962 г. присоединил манипулятор к вычислительной машине. ЭВМ формировала сигналы управления на электродвигатели манипулятора, используя сигналы о положении механической руки в пространстве, сигналы тактильных датчиков и фотодатчиков, установленных на схвате руки. Это был один из первых манипуляторов, управляемых от ЭВМ (названный МН-1). Программы управления были еще несовершенны: наиболее сложная из них сводилась к тому, что рука перемещалась вдоль поверхности стола и, натолкнувшись на предмет, брала его и сбрасывала в бункер.

Более сложное устройство было построено в Массачусетском технологическом институте (США). Робот представлял собой сочетание манипулятора с телевизионной камерой (система глаз—рука). Наличие визуальной обратной связи позволяло решать сложные задачи, например он мог поймать мяч, брошенный в его направлении. Разработанная в Стэнфордском университете в начале 70-х годов система глаз—рука уже могла самостоятельно осуществлять сборку водяного насоса из деталей, расположенных в беспорядке на рабочем столе. Японская фирма «Хитачи» создала систему, способную собрать деталь по чертежу: машина изучает проекции узла на чертеже, составляет план сборки и осуществляет его. Хотя возможности такой системы пока весьма ограниченны, она наглядно демонстрирует перспективы использования робототехники в автоматизации технологических операций.

Наряду с разработкой манипуляционных систем получили дальнейшее развитие и исследования в области автономного перемещения роботов. Здесь произошел синтез идей искусственного интеллекта и принципов самодвижущихся аппаратов. В начале 70-х годов в Стэнфордском университете был создан робот «Шейки» — мобильное радиоуправляемое устройство с телевизионной камерой. Управление осуществлялось с помощью формального языка. Робот анализировал ситуацию и планировал свои действия, направленные на выполнение задач,

поставленных оператором. Он мог обходить различные препятствия на своем пути, проходить лабиринты.

В Советском Союзе в эти годы были созданы системы глаз—рука для манипуляционных роботов и системы управления самодвижущимися роботами. В широком плане проводились разработки в области искусственного интеллекта.

Особенностью всех описанных устройств является сочетание различного уровня «машинного интеллекта» с двигательной активностью, позволяющей реализовать этот «интеллект» в той или иной форме. Именно к таким устройствам в наибольшей степени подходит термин «робот». Условимся в дальнейшем понимать под термином «робот» технический комплекс, предназначенный для выполнения двигательных и некоторых интеллектуальных функций человека и обладающий необходимыми для этого исполнительными устройствами, управляющими и информационными системами, а также средствами решения соответствующих вычислительно-логических задач. Учитывая общность термина, прибегают к его дополнительным определениям. Так, производственные автоматические манипуляторы называют промышленными роботами.

Для роботов, обладающих искусственным интеллектом, примем термин *интеллектные*, т. е. содержащие элементы искусственного интеллекта [3] в отличие от термина «интеллектуальные», имеющего «человеческий» смысл. Применение такого термина позволит обходиться без кавычек, в которые обычно заключают слово «интеллектуальный», применяя его к роботам.

Разумеется, между различными категориями роботов нет непреодолимых различий, т. е. промышленные роботы тоже могут быть интеллектными в той степени, которая вызывается деловой необходимостью и допускается экономикой производства.

В 40—50-е годы в связи с развитием атомных исследований получили распространение копирующие манипуляторы. Они позволяли человеку-оператору дистанционно выполнять механические действия с радиоактивными или химическими материалами, которые находились в изолированной камере. Такие манипуляторы состояли из двух идентичных механизмов, расположенных по разные стороны стены камеры и связанных между собой механической передачей. Человек перемещал задающий механизм, и эти движения копировались исполнительным механизмом. В дальнейшем с развитием телемеханики и техники следя-

щих систем оказалось возможным размещать исполнительную и задающую части копирующей системы на большом расстоянии. Механическая рука при этом управляется электромеханическими сигналами, вырабатываемыми человеком-оператором с помощью задающего устройства. За процессом управляемого им движения исполнительного механизма оператор наблюдает с помощью телевидения.

Если при разработке интеллектных роботов-автоматов основная задача состоит в воспроизведении интеллектуальных функций человека, то при создании дистанционно управляемых манипуляционных систем она заключается в наилучшем согласовании возможностей человека-оператора и исполнительной части системы, т. е. механических рук. Такая постановка вопроса привела в первую очередь к усовершенствованию механизма манипулятора, с тем чтобы по своей гибкости, управляемости и динамическим качествам он по возможности приближался к соответствующим свойствам рук человека.

Появились антропоморфные манипуляторы, обладающие кинематикой, внешне подобной кинематике руки человека. Одной из наиболее удачных конструкций такого рода, кроме известных промышленных образцов, является семейство универсальных электромеханических манипуляторов (УЭМ), разработанных в МВТУ им. Н. Э. Баумана. Манипулятор «Хэндимен», созданный фирмой «Дженерал электрик» в 1962 г., на каждой из двух антропоморфных рук имел по два пальца, каждый палец имел две фаланги и управлялся независимыми приводами. Гибкость такой руки, управляемой в копирующем режиме, была настолько велика, что позволяла оператору вращать ею гимнастическое кольцо. Копирующие манипуляторы могут устанавливаться на подвижном основании. Так, устройство «Маскот», созданное итальянскими учеными, представляет собой две телеуправляемые руки, укрепленные на подвижной тележке, которая также снабжена телевизионной камерой.

Точное и быстрое управление манипулятором требует восприятия оператором сил и моментов, воздействующих на механическую руку. Создание систем, обеспечивающих такую информацию (двустороннего действия), позволило существенно повысить качество управления. Большой вклад в этой области сделан советскими учеными [4, 7]. Такие устройства, дистанционно управляемые человеком, вообще говоря, не являются роботами. Они — инструмент в предметной деятельности. Здесь мы имеем дело с новым

видом человеко-машинных систем, для которых будем использовать термин «эргатические системы». Особенность их состоит в том, что они являются средством активного взаимодействия человека с роботом, а значит, и наиболее полного по своим возможностям проявления деятельности человека-оператора. Отметим, что вмешательство человека в действия удаленного робота отнюдь не всегда происходит в копирующем режиме. Ниже мы увидим, каким образом при дистанционном управлении манипуляторами деятельность человека может быть облегчена с помощью ЭВМ (полуавтоматические и интерактивные системы). Важность развития техники эргатических роботов связана с тем, что многие задачи, возникающие при выполнении операций в опасных для человека средах, пока не могут быть поручены целиком машине.

Итак, все существующие и перспективные виды манипуляционных роботов и робототехнических систем можно разделить на два больших класса: 1) автоматически действующие роботы — к ним относится большинство современных промышленных роботов; 2) дистанционно управляемые манипуляционные роботы с человеком-оператором — в основном для применения в экстремальных условиях, где опасна или невозможна жизнедеятельность человека. Каждый класс роботов может применяться в обеих сферах. Кроме того, существуют информационные, мобильные (движущиеся — шагающие, плавающие, летающие) и другие классы роботов, а также комплексы информационно управляющих и манипуляционных роботов. Роботизированные технологические комплексы представляют собой объединение в одной системе роботов с другим производственным оборудованием. Такой принцип является основой роботизации производства, поэтому промышленные роботы надо рассматривать как новый элемент общей системы комплексной автоматизации производственных процессов.

Остановимся на отдельных классах робототехнических систем и проблемах, возникающих в связи с их созданием.

## РОБОТЫ-АВТОМАТЫ

В автоматических режимах могут действовать как манипуляционные роботы, так и информационные, мобильные (движущиеся) и другие [5, 6]. Мы рассмотрим лишь первые из них.

Класс манипуляционных роботов, действующих авто-

матически, характеризуется тем, что робот состоит из многозвенного манипулятора с приводами в сочленениях (суставах) и автоматической системы управления, включающей различные измерительные датчики, устройства обработки информации, управляющие устройства. Звенья манипулятора соединены друг с другом либо поворотными шарнирами, либо поступательными (телескопическими) направляющими. В первом случае манипулятор может иметь так называемую антропоморфную кинематическую схему, если в нем, как в человеческой руке, все звенья имеют лишь вращательные перемещения друг относительно друга. В манипуляторах современных промышленных роботов чаще применяются неантропоморфные кинематические схемы, где некоторые соединения звеньев шарнирные, а некоторые — телескопические, т. е. отдельные звенья могут поступательно выдвигаться, удлиняя или укорачивая руку робота. Одним концом манипулятор крепится к корпусу робота (плечевой сустав), а на втором свободном конце (кистевой сустав) устанавливается схват или какой-либо инструмент.

Взаимные перемещения звеньев манипулятора производятся с помощью управляемых приводов — электрических, гидравлических или пневматических. Автоматическая система управления должна обеспечить согласованное движение приводов во всех сочленениях таким образом, чтобы концевая точка манипулятора получила определенное целенаправленное перемещение в рабочем пространстве, а схват или инструмент — определенную угловую ориентацию для совершения рабочей операции. Чтобы попасть в любую точку рабочего пространства, необходимо обеспечить три степени свободы движения манипулятора. Еще три степени свободы нужны, чтобы дать схвату любую угловую ориентацию в этой точке. Следовательно, в общем случае требуется, чтобы манипулятор обладал кинематической схемой с шестью степенями подвижности.

Такой манипулятор универсален: подобно человеческой руке он способен совершать любые манипуляционные операции в определенном рабочем пространстве. Однако во многих случаях такой универсальности не требуется и достаточно трех — пяти степеней подвижности. В других случаях, наоборот, требуется большее число степеней подвижности — семь — девять. Такая избыточность нужна манипулятору, чтобы достигнуть любой точки пространства с любой ориентацией схвата при разных конфигурациях относительного положения звеньев, например при

наличии в рабочем пространстве препятствий, которые рука робота должна по-разному огибать.

Различают три вида автоматических систем управления роботов: а) программные, б) адаптивные, в) интеллектные. Это соответствует трем поколениям роботов. Заметим, что здесь поколения, в отличие от поколений, например, вычислительной техники, не сменяют друг друга, а существуют параллельно и совершенствуются непрерывно каждый внутри своего вида. Поэтому не возникнет четвертого поколения, ибо искусственный интеллект третьего будет неограниченно развиваться по мере общего развития науки и технических средств.

Развитие от одного вида автоматической системы робота к другой идет по иерархическому принципу. В первом случае (а) система управления действует по жестко заданной программе, которая может, однако, быть легко перестроена на любой комплекс манипуляционных технологических операций в пределах возможностей данного робота. Но после каждой настройки робот многократно повторяет одну и ту же жестко запрограммированную операцию. Все эти программы могут быть реализованы либо в управляющей ЭВМ, входящей в состав системы управления робота, либо в специальном программном устройстве. В данном случае система управления роботом имеет два иерархических уровня — исполнительный (управляемые приводы манипулятора) и управляющий. В задачу последнего входит формирование и распределение сигналов управления на все приводы таким образом, чтобы конец манипулятора (со схватом или инструментом) получил требуемое по программе движение.

Второй вид (б) автоматической системы управления (второе поколение роботов) — адаптивная система — обладает уже двумя управляющими уровнями над прежним исполнительным — тактическим и стратегическим. Роль последнего состоит в восприятии обстановки в рабочем пространстве, приспособляемости (адаптации) к ней и планировании операций, например, путем выбора подходящих программ из имеющегося в управляющей ЭВМ набора программ для разных элементарных операций, из которых составляется нужная по обстановке технологическая операция в целом. Таким образом, на стратегическом уровне в адаптивной системе осуществляется гибкое программирование операции — приспособление к обстановке в рабочем пространстве. Затем нижестоящий тактический уровень выполняет, как и в системе программного управления,

формирование и распределение сигналов управления на все приводы манипулятора для осуществления заданной со стратегического уровня программы.

В адаптивной системе имеются еще средства очувствления, состоящие из датчиков (тактильных, локационных и др.), устанавливаемых на манипуляторе (обычно на его схвате), и из системы обработки информации от этих датчиков. Полученная информация выводится на стратегический уровень управления, который с помощью такой сенсорной системы получает возможность воспринимать обстановку и приспосабливаться к ней. На каждом управляющем уровне и в системе очувствления могут функционировать отдельные ЭВМ, которые в микропроцессорном исполнении весьма компактны.

Третий вид (в) автоматической системы управления (третье поколение роботов) — интеллектная, или, как ее еще называют, интегральная система характеризуется добавлением еще одного управляющего уровня — высшего. Высший уровень содержит элементы искусственного интеллекта. Под ними понимаются технические устройства (включающие в себя микро-ЭВМ), которые, используя развитую систему очувствления и искусственное зрение, автоматически производят распознавание обстановки в рабочей зоне и построение в ЭВМ упрощенной модели среды. Они обеспечивают автоматическую выработку решения о дальнейших действиях манипуляторов в соответствии с укрупненно заданной целью технологической операции. Здесь может идти речь и о самообучении робота по накапливаемому им в своей памяти опыту работы. Затем выработанное решение передается вниз на стратегический уровень и на всю последующую цепочку уровней, как в предыдущей системе.

Здесь надо сказать, что приписываемые робототехнической системе термины часто созвучны с терминами, относящимися к свойствам человека (очувствление, память, зрение, восприятие и т. д.), но их нельзя понимать в буквальном смысле: имеется в виду лишь внешняя, функциональная аналогия по своим конечным результатам, но отнюдь не по существу процессов и тем более не по физической природе. Само по себе применение подобных терминов не должно вызывать возражений. Это традиция технических наук, давно применявших такие «биологические» термины, как палец, червяк, крыло, усталость металла, память ЭВМ и т. п. При этом отнюдь не утверждается каких-либо природных аналогий памяти ЭВМ и памя-

ти человека, усталости металла и усталости живого существа. При всем этом небесполезны были бы и такие технические устройства, которые основывались бы на бионических принципах, в том числе и с моделированием каких-либо психофизиологических свойств человека. Но опять-таки это моделирование осуществляется иными техническими средствами, нежели в живой природе.

В настоящее время почти все промышленные роботы пока еще являются манипуляционными роботами первого поколения. Они уже в большом количестве «трудятся» в производственных цехах. Что касается следующих двух поколений, то простейшие адаптивные роботы уже появились на производстве, а интеллектные находятся в основном на стадии теоретических и экспериментальных разработок, хотя имеются уже и работоспособные образцы системы глаз — рука. Перспективы же развития робототехники неограниченны. Роботы и робототехнические системы будут с каждым годом играть все большую и большую роль в жизни человека. Но их развитие требует решения целого ряда научно-технических проблем [8].

Современные промышленные роботы первого поколения — программные — по принципу автоматического управления делятся на три группы: цикловые, позиционные, контурные.

В роботах с цикловым управлением движения по всем степеням подвижности совершаются от упора до упора. Программное устройство робота по заранее заданной программе включает привод того или иного звена (или одновременно двух-трех звеньев) манипулятора. Последний при этом движется до соответствующего упора. Контакт с упором служит сигналом на включение следующего этапа движения и т. д., пока не совершатся все элементы данного технологического процесса. Затем автоматически весь цикл повторяется многократно в течение всего рабочего времени.

Такие системы удобны, например, для обслуживания прессов на штамповочных работах. Тут в большинстве случаев применяются пневматические приводы с быстрым срабатыванием на каждом этапе движения. Работа пресса взаимосвязана с циклами движения манипулятора робота.

В позиционных системах управления программируются движения манипулятора от точки к точке. Число точек программы за цикл движения лежит в пределах от сотен до десятков тысяч. При таком цифровом программном управлении (от микро-ЭВМ или достаточно развитого прог-

раммного устройства) имеется уже возможность осуществлять сложные движения манипулятора. Позиционные роботы могут применяться во многих технологических процессах, заменяя однообразный ручной труд рабочего. Система программного управления робота сопрягается непосредственно с системой управления всего основного технологического оборудования, обслуживаемого данным роботом или группой роботов. При этом образуется полностью автоматически действующий роботизированный технологический комплекс с цифровым программным управлением от мини- и микро-ЭВМ. Таким образом, с помощью роботов исключается участие человека в технологическом процессе и тем самым завершается комплексная автоматизация производства.

Роботы с контурным управлением действуют по принципу замкнутых автоматических систем с обратной связью. Приводы звеньев робота снабжаются датчиками обратной связи по положению и по скорости, как в обычных следящих системах. При управлении от микро-ЭВМ достигается более совершенная форма движения манипулятора, поэтому на базе контурного управления можно добиться выполнения роботом более тонких ручных операций. В таких роботах легче осуществить переход к адаптивному управлению, т. е. к роботам второго поколения.

Позиционные и контурные системы роботов снабжаются обычно электромеханическими или гидравлическими (электрогидравлическими) приводами. Пневматика в них остается иногда для привода движения только губок схвата. Но чаще и эта операция электрифицируется.

Ввиду чрезвычайно широкого разнообразия технологических процессов во всех отраслях народного хозяйства требуется реализация с помощью роботов самых разнообразных форм ручного труда. Различают роботы универсальные и специализированные. Последние имеют более ограниченное число степеней подвижности и предназначены для роботизации узкого класса технологических операций, но часто встречающихся на практике. Они дешевле универсальных роботов. Универсальные роботы имеют шесть и более степеней подвижности и обладают широкими возможностями манипулирования в большом объеме рабочей зоны.

Поскольку нерентабельно производить очень большое число различных моделей роботов в соответствии с необозримым количеством технологий в народном хозяйстве, то считается перспективным агрегатно-модульный прин-

цип их построения. Он состоит в том, что создается ряд простых базовых моделей, которые можно конструктивно надстраивать с помощью различных стандартных модулей как механических звеньев, так и приводов и модулей программного обеспечения и управления — по-разному для разных специфических технологических применений.

Модульный принцип распространяется и на адаптивные и интеллектные роботы, в которых добавляются модули различных средств очувствления (сенсорных устройств), различные модули микропроцессорной техники для обработки информации от них с целью распознавания обстановки, планирования действий робота и формирования сигналов управления, а также соответствующие модули математического (алгоритмического и программного) обеспечения.

Как уже говорилось, датчики и системы очувствления роботов являются аналогами органов чувств животных и человека по своим внешним проявлениям и функциям, но не по природе и не по внутреннему строению. Реализуются они на соответствующих средствах измерительной, локационной, телевизионной и тому подобной техники. Но к ним предъявляются специфические требования в смысле миниатюрности, диапазонов восприятия, чувствительности, быстродействия и пригодности выходных сигналов к цифровой обработке.

Простейшими из них являются тактильные датчики (осязательные). Матрицы тактильных датчиков, устанавливаемые обычно на губках схвата манипулятора, позволяют фиксировать и передавать в систему управления робота сигнал о прикосновении к предмету, о степени его захвата, о возможном проскальзывании. С их помощью можно определять форму захваченных предметов и, значит, сортировать их по какому-либо признаку.

Важное значение имеют силоизмерительные датчики. С помощью сигналов, поступающих от них в систему управления, можно автоматически регулировать силу сжатия в схвате, силу нажатия инструмента на предмет труда (сверла, гайковерта в кисти манипулятора), что особенно важно при сборочных операциях. Локационные датчики, например ультразвуковые, позволяют измерять скорость приближения кисти манипулятора к предмету и расстояние до него, а следовательно, и регулировать их автоматически через систему управления робота. На кисть манипулятора можно монтировать любые другие датчики, реагирующие на те или иные свойства предмета — темпе-

ратуру, влажность, радиацию и т. п., если это необходимо по технологическому процессу.

Появление предмета (например, движущегося на конвейере) в определенном месте может фиксироваться и вызывать нужные действия манипулятора простой системой фотоэлементов. При этом можно грубо различать и формы предметов.

Более тонкое распознавание предметов и обстановки производится с помощью систем искусственного зрения, датчиками которой могут быть телекамеры, или приборы зарядовой связи (ПЗС), или же фотодиодные матрицы. Будучи связаны через микропроцессорные устройства обработки информации и распознавания образов с системой управления манипулятора, они составляют систему глаз—рука. При этом сам глаз (телекамера или матрица) может устанавливаться либо в стороне, давая общий обзор сцены действия манипулятора, либо непосредственно в кисти манипулятора для локального видения места рабочей операции. В последнем случае сама рука робота обладает зрением (наряду с другими «чувствами», если на ней установлены и другие датчики).

В интеллектных роботах, как и у человека в процессе трудовой деятельности, могут одновременно использоваться различные сенсорные устройства (в единой системе).

Важно отметить еще, что все это требует сложной системы обработки информации в контурах от датчиков до реализации целенаправленных действий манипулятора в зависимости от обстановки и поставленной задачи. Алгоритмы и программное обеспечение должны быть при всей сложности задачи построены так, чтобы все это в реальных микропроцессорах успевало срабатывать в реальном темпе времени действий робота в данном технологическом процессе.

Спрашивается, зачем нужны адаптивные и тем более интеллектные роботы. Не достаточно ли иметь универсальные программные роботы?

Дело в том, что программные роботы настраиваются каждый раз на выполнение, может быть, и сложных, но жестко запрограммированных манипуляций. Это значит, что обстановка в рабочем пространстве должна быть строго детерминированной; все предметы, с которыми такой робот манипулирует, должны быть расположены в строго определенных местах и вполне определенным образом ориентированы. Во многих производственных цехах это

легко сделать, но далеко не всегда. Часто для этого требуется дополнительная дорогая и громоздкая технологическая оснастка. И бывает выгоднее, отказавшись от нее, усложнить систему управления робота, чтобы он сам ориентировался в окружающей обстановке.

Если, например, предмет лежит произвольным образом или движется на конвейере, либо если надо выбирать из двух разных предметов один, то уже требуется адаптивная система управления, которая хотя бы элементарным образом приспосабливалась к не вполне определенной обстановке. Для человека это не составляет труда, а реализация автоматического адаптивного процесса в роботе далеко не всегда оказывается простой задачей. Производственные условия диктуют в каждом случае решать такие задачи простейшими техническими средствами и наиболее экономичными, что требует всегда серьезных исследовательских проработок и остроумного изобретательства. Но это совершенно необходимо делать для целого ряда сборочных, сварочных и многих других технологических операций.

Еще сложнее обстоит дело в неопределенной и непредвиденной заранее, а может быть, изменяющейся обстановке, когда даже характер манипуляционных операций нужно определять в зависимости от ситуации. Тогда и требуется создание автоматической системы управления с элементами искусственного интеллекта. Но это перспектива, а пока в таких случаях целесообразно создавать человеко-машинные системы с дистанционным управлением.

## ЭРГАТИЧЕСКИЕ РОБОТЫ

Перейдем ко второму классу — дистанционно управляемым манипуляционным роботам. Здесь в процессе управления непосредственно функционирует человек-оператор в сочетании с разнообразной автоматикой, вычислительной техникой и сложным механическим управляемым объектом. Подобные системы принято называть эргатическими, поэтому и дистанционно управляемые манипуляционные роботы будем называть эргатическими. Применение таких роботов часто бывает необходимо в экстремальных средах, где человек не может длительно и эффективно работать даже в защитной одежде (при наличии радиации, загазованности, взрывоопасности, высоких

и низких температур, сильных магнитных полей, глубоко под водой, в открытом космосе).

Вначале появились дистанционные манипуляторы с копирующим и кнопочным (командным) управлением. Человек выводился из опасной зоны, но при этом он не освобождался от ручного труда, а наоборот, этот труд стал более напряженным и утомительным. Поэтому, выполняя основную задачу робототехники, следует переходить к полуавтоматическим человеко-машинным системам, включающим наряду с дистанционным управлением собственную управляющую ЭВМ робота.

Дело в том, что в экстремальных условиях часто нужно выполнять достаточно сложные ручные операции, однако современный уровень развития робототехники еще не позволяет делать это полностью в автоматическом режиме. Тогда в дополнение к местной автоматической системе управления робота подключается дистанционный контур наблюдения и управления, чтобы человек-оператор, находясь на любом безопасном расстоянии, мог непрерывно вести наблюдение за действиями робота и окружающей его обстановкой и вмешиваться по мере надобности в процесс управления его действиями. Таким образом, в сложных для автомата случаях к системе как бы подключается естественный интеллект человека для анализа обстановки и принятия решения о необходимости целенаправленных действий робота. Подобные системы управления обычно называют супервизорными.

Два взаимосвязанных процесса определяют действия человека-оператора в робототехнической системе: процесс наблюдения и процесс управления. Чтобы обеспечить выполнение этих процессов, пульт оператора снабжается экранами и приборами для наблюдения и специальными техническими устройствами для управления.

Наблюдение может вестись оператором с помощью телевизионных и иных оптических средств, акустических и других разнообразных устройств в зависимости от свойств среды и объектов действия в удаленной рабочей зоне робота. При этом оператор должен получать объемное представление обо всем рабочем пространстве и о движениях в нем манипуляционного робота. Эффективность наблюдения человека-оператора за действиями робота и окружающей его средой тесно связана с психическими и физиологическими свойствами человека. Технические средства наблюдения и способы визуализации информации от них должны отвечать требованиям наглядности

восприятия, наименьшей утомляемости органов чувств и психики человека, возможности уверенного распознавания им обстановки в зоне действия робота. Все это должно согласовываться со способами постановки целей проводимых манипуляционных операций, чтобы максимально облегчить человеку принятие решений о дальнейших действиях робота при любой возможной ситуации.

Управление может вестись оператором различными методами: 1) командным, 2) копирующим, 3) полуавтоматическим, 4) супервизорным, 5) диалоговым; в каждом из этих методов имеется много разновидностей [9]. По этой классификации систем управления эргатические роботы делятся на две большие группы: дистанционно управляемые манипуляторы (первые три вида управления) и дистанционно управляемые роботы (последние два вида управления, когда управляемым объектом является робот с набором автоматических режимов собственных действий).

Наиболее простым решением проблемы телеуправления с точки зрения технической реализации является кнопочное (командное) управление. В этом случае, нажимая ту или иную кнопку либо тумблер, оператор включает поочередно движение то одного, то другого определенного сустава робота. Однако подобный способ далеко не прост для оператора, так как перед ним возникает задача координации движений в отдельных суставах.

При копирующем методе оператор воздействует рукой на задающий механизм, который кинематически подобен исполнительному манипулятору. Каждый шарнир задающего механизма связан отдельной дистанционной следящей системой с соответствующим шарниром манипулятора. В задающем механизме установлены задатчики следящих систем, а в манипуляторе робота — исполнительные приводы. Между ними проведены линии связи. Манипулятор робота во всех своих звеньях повторяет движения, производимые оператором на задающем механизме.

Для повышения эффективности работы оператора используют следящие системы двустороннего действия, т. е. с отражением на руку человека тех усилий (может быть, в уменьшенном масштабе), которые имеют место фактически при работе манипулятора. Это приближает действия человека к привычным, он ощущает непосредственно руками рабочее усилие. В такой системе двустороннего действия на обоих концах следящих систем на всех шарнирах задающего механизма и манипулятора имеются как

задатчики, так и приводы (для создания усилий). Есть различные варианты систем двустороннего действия. Отражение усилий на руку человека может производиться не все время, а лишь в целесообразно выбранные промежутки, когда по ходу процесса это действительно необходимо (чтобы все остальное время не утомлять человека силовой нагрузкой). Однако, как уже говорилось выше, копирующий метод не решает задачи освобождения человека от утомительного ручного труда.

При полуавтоматическом методе управляющий механизм представляет собой многостепенную рукоятку с малыми перемещениями по каждой степени свободы. Снимаемый с нее электрический сигнал поступает в вычислительное устройство, которое формирует управляющие сигналы на все приводы манипулятора так, чтобы концевая точка его получила требуемое движение. В отличие от копирующего метода кинематическая схема управляющей рукоятки не зависит от кинематической схемы манипулятора и может выбираться отдельно, исходя из удобства действий человека-оператора, в то время как кинематическая схема манипулятора выбирается из условий наилучшего манипулирования в рабочей зоне.

Легкое нажатие оператора на рукоятку вызывает сигнал, по которому через вычислительное устройство и линию связи задается один из режимов: скоростной, когда вырабатывается вектор скорости концевой точки манипулятора (для «транспортных» движений), позиционный — с выработкой величины перемещения концевой точки (для малых движений около рабочего предмета), силовой — с выработкой вектора силы воздействия манипулятора (при его контакте с предметом). Каждый из трех вариантов полуавтоматического управления требует своих алгоритмов формирования сигналов управления в вычислительном устройстве и соответственно переключения вычислителя в процессе управления движением манипулятора. Отражение рабочего усилия в манипуляторе на руку человека-оператора при полуавтоматическом управлении (силовое очувствление управляющей рукоятки) может производиться разными способами, в том числе вибротактильным.

Полуавтоматический метод управления позволяет снизить утомляемость и напряженность в работе оператора, поскольку облегчаются движения рук человека по величине и конфигурации в сравнении с копирующим методом, однако здесь необходимо позаботиться о возмож-

ном снижении интеллектуальной и психической нагрузок человека, прямо зависящих от соответствия выбранных кинематических схем.

Супервизорный метод дистанционного управления предполагает, что робот «умеет» выполнять автоматически все части заданной операции по отдельности. Однако его нужно переключать с одной части операции на другую в необходимой для выполнения данной задачи последовательности с учетом складывающейся обстановки. Человек-оператор, наблюдая за действиями робота и за обстановкой и зная поставленную задачу, составляет план действий и дает роботу время от времени целеуказательные команды, с помощью которых включается то одна, то другая программа автоматического функционирования робота. Целеуказания могут производиться оператором различными способами: световым карандашом на экране, нажатием клавиш и т. п. При этом автоматические действия робота в реализации каждой команды могут производиться либо по жесткой программе, либо по гибкой — с адаптацией к обстановке (адаптивные программы с использованием очувствления, самонаведения и т. п.).

Диалоговый метод является высшей формой интерактивного управления: робот не только исполняет команды, но и «предсказывает» последствия того или иного шага в выполнении операций, помогает в распознавании обстановки, если это связано с обработкой информации, в планировании действий и т. п. Окончательное решение принимает человек и действует дальше, как в супервизорном режиме управления. Диалог человек — робот может производиться различными способами, включая использование естественного языка человека (текстом или голосом). При применении диалогового метода дистанционного управления робот должен быть либо адаптивным, либо интеллектным.

В реальных условиях могут случаться непредвиденные обстоятельства, поэтому для эргатических роботов целесообразно делать комбинированные системы управления. Когда автоматически действующий робот попадает в трудную для него ситуацию, человек-оператор, непрерывно наблюдающий за его действиями, должен иметь возможность взять в свои руки дальнейшее проведение операции, дистанционно подключая копирующую или полуавтоматическую систему как вспомогательную. Основным же в случае комбинированного управления должен быть супервизорный либо диалоговый метод.

Итак, эргатические роботы представляют собой человеко-машинную систему, в которой часть операций робот выполняет самостоятельно (автоматические режимы управления), а часть — под дистанционным руководством человека-оператора. Какой из названных выше методов следует выбирать в каждом конкретном случае применения роботов — это задача не только технико-экономическая, но и инженерно-психологическая. К этому же циклу задач относятся вопросы о разумной степени автоматизации действий робота при наличии человека-оператора и о целесообразном разделении функций между человеком и управляющей ЭВМ в разных ситуациях. Психофизиологической задачей является также оптимизация сопряжения человека с техникой при дистанционном наблюдении и управлении. Здесь не только человека надо приспосабливать (путем обучения) к техническим устройствам, но и технические устройства создавать с наиболее полным учетом психофизиологических свойств человека.

Наличие человека-оператора с его уникальными способностями к восприятию обстановки и принятию решений неизбежно накладывает отпечаток на организацию автоматических режимов «самостоятельной» части действий робота. Если в системах с полностью автоматическими роботами надо идти на усложнение иерархии управления и очувствления, чтобы совершать требуемые сложные операции, то в человеко-машинных системах, именно благодаря наличию человека, вопрос о целесообразной степени автоматизации действий робота ставится по-иному. Здесь возможны некоторые упрощения в автоматической части системы, здесь есть почва, чтобы в разумных пределах избежать излишних усложнений автоматики, повысив надежность и экономичность автоматической части системы. Но при этом не должно быть перегрузки человека-оператора. Путем совершенствования методов и техники, обеспечивающих процессы наблюдения и управления, оптимизации распределения функций между человеком и машиной, правильной организации взаимодействия человека с управляемым роботом следует добиваться максимального облегчения работы человека при наибольшей эффективности его действий.

Вне рассмотренных двух классов манипуляционных роботов находятся некоторые другие манипуляционные механизмы, важные с точки зрения облегчения труда человека. Среди них наиболее широкое применение получают так называемые шарнирно-балансирные манипуляторы,

Это многозвенные механизмы с приводами в каждом сочленении звеньев, которые могут поднимать и перемещать большие тяжести (до нескольких сот килограммов), удерживая их в равновесии в подвешенном состоянии при любом пространственном положении. Взявшись за рукоятку на конце манипулятора, человек может легкими движениями перемещать груз в нужном направлении и укладывать без существенного усилия в нужное место. Движения его руки создают лишь управляющие сигналы на приводы суставов манипулятора, а всю тяжесть работы по поддержанию и перемещению груза берут на себя эти приводы. Таким образом, исключается тяжелый ручной труд грузчиков и такелажников.

Другим интересным примером подобного рода систем является экзоскелетон — многозвенный механизм с приводами в суставах, который сочленяется непосредственно со «звеньями» рук или ног (или тех и других) и корпусом человека. Человек легкими движениями рук или ног (как управляющими сигналами на приводы) может совершать тяжелую работу или передвигаться по трудно проходимой местности. Такой экзоскелетон может встраиваться, например, в костюм водолаза для облегчения его работы под водой. Подобного рода управляемые механизмы не являются роботами, но по своему значению могут быть отнесены к категории робототехнических систем.

Проблема сочетания человека и робота в едином трудовом процессе ставит вопрос о том, какие функции человека могут быть переданы роботу, а какие останутся привилегией человека. Этот вопрос представляет интерес не только для данного современного уровня развития науки и техники. Необходимо установить, существуют ли объективные, принципиальные границы развития робототехники или таких границ нет. Поскольку физические возможности человека уже сейчас в значительной мере могут быть превзойдены машинами, вопрос касается главным образом его интеллектуальных возможностей в процессе трудовой деятельности на производстве и в других областях. Анализу этого вопроса посвящена следующая глава.

## Глава II

# ПРОБЛЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Представление о роботе всегда связывается с его возможностями осуществлять самостоятельно «разумное» поведение, т. е., помимо двигательных, решать еще и такие задачи, которые относятся к интеллектуальной сфере. Этим робот и отличается от автомата. Таким образом, проблемы искусственного интеллекта, имеющие более широкое значение, оказываются непосредственно связанными с вопросами робототехники. Специфика робототехнических систем проявляется в том, что использование элементов искусственного интеллекта в них тесно увязано с «трудовой деятельностью» робота, выражающейся в активном взаимодействии с окружающей средой при помощи устройств очувствления и рабочих исполнительных органов. Вместе с тем проблемы искусственного интеллекта представляют и самостоятельный интерес; их рассмотрение позволяет определить «интеллектуальные» возможности роботов.

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

### Предыстория вопроса

Искусственный интеллект как научное направление возникло в 50-х годах в связи с появлением достаточно мощных вычислительных машин. Рассматриваемые проблемы состояли в воспроизведении на ЭВМ отдельных интеллектуальных задач, считавшихся ранее привилегией человеческого разума. В основу понятия «искусственный интеллект» было положено предположение о том, что интеллектуальные задачи могут быть описаны с помощью алгоритмов и эвристических приемов, т. е. сведены к задачам переработки информации.

Вопрос о том, можно ли формализовать мышление

человека, т. е. свести его к набору правил и процедур, возник задолго до того, как появился сам термин «искусственный интеллект». Вычислительные машины оказались лишь материальным средством для реализации таких процедур. Это связано с тем, что проблема формализации мышления по существу является проблемой познания законов мышления.

Рассматривая вопросы, связанные с искусственным интеллектом, следует помнить слова В. И. Ленина: «...не забывать основной исторической связи, смотреть на каждый вопрос с точки зрения того, как известное явление в истории возникло, какие главные этапы в своем развитии это явление проходило, и с точки зрения этого его развития смотреть, чем данная вещь стала теперь» [10, с. 67].

Если рассматривать проблемы искусственного интеллекта в этом аспекте, можно заметить, что они в той или иной мере изучались в течение всей истории развития науки. При этом сфера формализации интеллектуальных задач всегда была предметом дискуссий, в то время как сама эта формализация, будучи аппаратом мышления, постоянно развивалась.

Уже Платон ставит вопрос о том, что всякое знание и умение должно быть представлено в виде точных определений и правил. Эту формализацию он распространяет и на этическую область — взаимоотношений между людьми [11, с. 362].

Аристотель считается создателем формальной логики, позволившей установить основные правила рассуждений. Но вместе с тем он не находит возможным применять формальные правила в этической сфере. Обсуждая вопрос о возможности установления таких правил, в частности при определении вины подсудимого, он считает, что трудно найти формулу, с помощью которой можно было бы определить, до какой степени может заблуждаться человек, чтобы его сочли виновным [12]. Для этого приходится обращаться к понятиям, которые воспринимаются интуитивно, к обстоятельствам и мнениям.

Идея применения точных методов к анализу деятельности человека и его мышлений получила значительное развитие в XVII—XVIII столетиях в связи с успехами точных наук.

Этой проблемой интересовался Р. Декарт, считавший некорректной постановку вопроса о создании разумных машин: «... хотя бы такие машины выполняли много вещей так же хорошо или, может быть, даже лучше, чем кто-либо

из нас, они неизбежно не могли бы выполнить ряда других, благодаря чему обнаружилось бы, что они действуют не сознательно, но лишь в силу расположения своих органов. Ибо в то время, как разум является орудием универсальным, которое может служить при всякого рода обстоятельствах, эти органы нуждаются в особом расположении для выполнения каждого особого действия. Отсюда явствует, что морально невозможно иметь достаточно органов в одной машине, чтобы они заставили ее действовать во всех обстоятельствах жизни таким же образом, как нам позволяет действовать наш разум» [13, с. 301]. Любопытно, что Декарт отрицал разумность животных, рассматривая их как автоматы, действующие по принципу стимул—реакция. Способность к разумному поведению Декарт связывал с наличием идеального начала — души.

Ж. Ламетри в XVIII в. написал книгу «Человек-машина», в которой выражает точку зрения, противоположную взглядам Декарта: «Очевидно, во Вселенной существует только одна субстанция и человек является самым совершенным ее проявлением. Он относится к обезьяне и к другим умственно развитым животным, как планетные часы Гюйгенса к часам императора Юлиана... Я не ошибусь, утверждая, что челевеческое тело представляет собой часовой механизм» [14, с. 616]. Несмотря на то что точка зрения Ламетри отражает крайний механицизм в подходе к человеческой деятельности, надо иметь в виду ее прогрессивность для своего времени. Такой подход открывал простор применению методов точных наук для исследования человека, что противоречило господствующей тогда идеологии. Книга Ламетри была публично сожжена за свое материалистическое направление.

Вопрос о возможности формализации мышления рассматривал Гоббс в своих работах «Учение о теле» и «Левиафан». Он признавал возможность сведения мышления к формально-логическим и даже арифметическим операциям: «Когда человек рассуждает, он лишь образует в уме итоговую сумму путем сложения частей... ибо рассуждение... есть не что иное, как подсчитывание (т. е. складывание и вычитание) связей общих имен с целью отметить и обозначить наши мысли» [15, с. 75]. Таким образом можно вычислять «величины, тела, движения, времена, качества, деяния, понятия, отношения, предложения и слова».

Дальнейшее развитие формализация мышления получила в работах Г. В. Лейбница. Определив небольшое количество исходных и неопределяемых идей, Лейбниц

попытался установить систему правил, «алгебру», позволяющую сформулировать любое сложное понятие: «В философии мною найдено средство достичь того же, что сделали Декарт и другие для арифметики и геометрии с помощью алгебры и анализа... Указан путь, на котором все существующие на свете составные понятия могут быть разложены на небольшое число простых понятий, являющихся как бы их алфавитом, и посредством правильного метода из комбинации букв такого алфавита могут быть со временем вновь получены все вещи вместе с их теоретическими доказательствами» [16, с. 10].

Лейбниц предполагал, что построенный символический язык позволит решить любую проблему: «...и если кто-нибудь усомнился бы в том, что я выдвигаю, я ответил бы ему: „Давайте вычислим, сударь!“ — и мы, взяв перо и чернила, быстро вышли бы из затруднительного положения» [17]. Лейбниц подчеркивает чрезвычайную важность подобных исследований: «...после того, как для большинства понятий будут установлены характеристические числа, человеческий род приобретет как бы новый орган, который расширит творческие возможности духа в гораздо большей мере, чем это делают оптические инструменты по отношению к остроте зрения, и который в той же мере превзойдет микроскопы и телескопы, в какой разум превосходит зрение» [17].

Несмотря на то что Лейбницу не удалось решить поставленную задачу, его мысли созвучны современным представлениям о задачах теории искусственного интеллекта. Не менее современно воспринимается и высказывание Гегеля, критически относившегося к теории Лейбница: «С этим у Лейбница была связана любимая его мысль, к которой он пришел еще в юности и от которой, несмотря на ее незрелость и поверхностность, не отказался и впоследствии: мысль о некоторой всеобщей характеристике понятий, о письменном языке, в котором каждое понятие было бы представлено как соотношение, вытекающее из других понятий, или как соотношение с другими, как будто в разумной связи, которая существенно диалектична, какое-либо содержание еще сохраняет те же самые определения, которые оно имеет, когда его фиксируют отдельно» [18].

Практическим вкладом Лейбница в решение проблемы искусственного интеллекта было создание им двоичной системы счисления. Это позволило Дж. Булю в 1847 г. сделать следующий шаг — разработать бинарную алгебру,

в которой единица обозначает истину, ноль — ложь, а основными действиями являются логические операции «и», «или» [19]. Подчеркнем, что Буль, как и Лейбниц, руководствовался отнюдь не формально-математическими соображениями; его цель была исследовать основные законы тех операций разума, посредством которых осуществляется рассуждение, выразить их на символическом языке некоторого исчисления.

В 1884 г. была опубликована работа русского математика Л. С. Порецкого [20], в которой приводились способы решения логических равенств.

Несколько раньше (в 1834 г.) англичанин Ч. Беббидж выдвинул проект «аналитической машины», которая была прообразом современной цифровой вычислительной машины. Проект намного опережал технологические возможности своего времени. Только в 1944 г. Х. Айкен построил первую цифровую вычислительную машину «Марк-1» (с использованием 3000 телефонных реле), которая могла реализовать идеи Лейбница и Буля.

Проблемой вычислительных машин занимались русские ученые, в том числе П. Л. Чебышев. Академик А. Н. Крылов в 1904 г. опубликовал работу, где описал созданную им машину для умножения и интегрирования [21].

Последующие успехи кибернетики были подготовлены не только развитием вычислительной техники и соответствующего математического аппарата, но и успехами в области физиологии. Применение в этой области точных естественнонаучных методов позволило существенно продвинуться в понимании процессов высшей нервной деятельности. Выдающаяся роль здесь принадлежит русским ученым, в том числе И. М. Сеченову и И. П. Павлову. Особенностью подхода русских ученых было рассмотрение человека и животных как самоуправляющейся и саморегулирующейся системы. Именно такой подход принят И. М. Сеченовым в книге [22]. Во введении он, в частности, пишет: «Во всякой машине можно различить части, соответственно составляющие рабочий механизм, и придатки, которыми управляется ход машины... Так и в животном теле система мышц, прикрепленных к подвижным частям костного скелета, составляет тот механизм, при посредстве которого человек и животные производят внешние механические работы, а регуляторами служат нервные придатки, которыми двигательная машина пускается в

ход, или останавливается; ускоряется, или умеряется в ес действии».

Такой подход был значительно развит И. П. Павловым, который писал, что «человек — есть, конечно, система (грубее говоря,— машина), как и всякая другая в природе, подчиняющаяся неизбежным и единым для всей природы законам; но система, в горизонте нашего современного научного видения, единственная по высочайшему саморегулированию. С этой точки зрения метод изучения системы человека тот же, как и всякой другой системы: разложение на части, изучение значения каждой части, изучение связи частей, изучение соотношения с окружающей средой и, в конце концов, понимание на основании всего этого ее общей работы» [23, с. 491].

Развитие науки о высшей нервной деятельности явилось важнейшей предпосылкой возникновения кибернетики как науки. Основные положения этой науки, охватывающей как живые организмы, так и технические системы, были разработаны математиками Н. Винером, Дж. Нейманом, В. Питтсом совместно с физиологами А. Розенблютом и У. Мак-Каллоком.

В СССР в 50-х годах существовала Комиссия по телемеханике и автоматике АН СССР, к которую наряду с инженерами и математиками входил известный биофизик академик П. П. Лазарев. В своих работах он подчеркивал связь физиологии и техники при решении задач управления. Выдающаяся роль в создании математического аппарата кибернетики принадлежит советским ученым А. Н. Колмогорову, С. Л. Соболеву, А. Я. Хинчину.

А. Тьюринг в 1950 г. поставил вопрос о том, могут ли машины мыслить [24]. Отметим, что слово «мыслить» здесь следовало бы заключить в кавычки, поскольку в качестве критерия, «мыслит» машина или нет, Тьюринг предлагает процедуру, основанную на сходстве внешнего поведения машины и человека. Эта процедура представляет собой игру в имитацию, в ходе которой человек, ведя беседу с неизвестным собеседником, по его ответам на вопросы должен установить, имеет ли он дело с человеком или с машиной. Конечно, такая процедура не дает оснований говорить о разумности машины. Опыт поставлен некорректно, потому что под словом «мыслить» понимается не процесс мышления человека, а его внешние проявления. В частных случаях, однако, такие проявления могут совпадать по форме с результатами работ машины и создавать иллюзию ее разумности.

Каково фактическое состояние проблемы «искусственный интеллект» — какие вопросы в наше время решаются в этой области? Некоторые из них были намечены Тьюрингом: «Мы можем надеяться, что машины будут соперничать с людьми во всех чисто интеллектуальных областях. Но какие из этих областей наиболее пригодны, чтобы начать именно с них? ...Многие считают, что лучше начать с какой-нибудь абстрактной деятельности, например с игры в шахматы. Другие предлагают снабдить машину хорошими органами чувств, а затем научить ее понимать и говорить по-английски. В этом случае машину можно будет обучать как ребенка: указывать па предметы и называть их» [24].

Действительно, проблемы интеллектуальных игр (в том числе шахматной), а также проблемы распознавания образов (в частности, понимания текста машиной) стали теми областями, в которых были сосредоточены основные силы исследователей искусственного интеллекта. И решались эти задачи с помощью совершенно различных подходов. Условно можно выделить три основные направления, в русле которых пошло дальнейшее развитие теории искусственного интеллекта.

Первое направление — это моделирование интеллектуальных задач с помощью традиционных машинных алгоритмов. Сходство с интеллектуальной деятельностью оператора при этом обнаруживается только в результатах, но не в процессе деятельности. Второе направление претендует на моделирование некоторых особенностей мышления человека применительно к решению специальных задач. Например, особенностей мышления шахматиста, обдумывающего очередной ход. Такое направление (имеющее, конечно, намного более широкое применение, чем игра в шахматы) получило название эвристического программирования.

В основе третьего направления лежит установление аналогий между структурами мозга и вычислительных устройств. Основоположниками такого подхода можно считать У. Мак-Каллока и В. Питтса. В начале 50-х годов они издали книгу «Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности» [25], в которой изложили математическую теорию нервных сетей. Элемент такой сети — нейрон может иметь два состояния — «да» и «нет». Авторы приходят к выводу, что все логические операции, которые могут быть описаны на формальном языке, можно реализовать с помощью нервной сети. Терминология

этой теории основана на определенной аналогии с работой нервной сети мозга, состоящей из нейронов. Аналогия эта является внешней, так как работа нейрона неизмеримо сложнее; в частности, установлено, что нейроны могут иметь бесчисленное множество состояний.

Это, однако, не снижает значимости теории нервных сетей как научного направления. Она получила дальнейшее развитие в ряде работ, например в книге Ф. Розенблатта [26], где раскрываются некоторые закономерности функционирования нейродинамических структур и формулируются правила, которые можно положить в основу вычислительных структур, работающих по принципу нервной сети.

Тем не менее вывод, что нервные сети являются аналогом соответствующих структур мозга и, следовательно, могут решать такие же задачи, отсюда не следует. На это указывал еще Дж. Нейман: «Налицо эквивалентность между законами логики и их осуществлением в нервной сети ...но эти законы и нервные сети не способны дать описания работы такой сложной системы, как мозг» [24, с. 92]. Нервные сети позволяют воспроизвести лишь то, что может быть формализовано по законам логики. Поэтому пределы формализации являются одновременно и пределами автоматизации мышления (в математике такие пределы устанавливаются известной теоремой К. Гёделя, согласно которой существуют алгоритмически неразрешимые задачи). Ограничения, свойственные возможностям нервных сетей, конечно, не распространяются на работу мозга, потому что эту работу нельзя свести только к функционированию нейронов. Как писал Ф. Энгельс, «мы, несомненно, „сведем“ когда-нибудь экспериментальным путем мышление к молекулярным и химическим движениям в мозгу; но разве этим исчерпывается сущность мышления?» [27, с. 563].

### Интеллектуальные игры и доказательства теорем

Как мы уже говорили, при решении задач искусственного интеллекта наибольшее развитие получили два подхода. Первый из них состоит в том, что соответствующие задачи решаются с помощью машинных алгоритмов, так что сходство с интеллектом человека проявляется только в результатах решения. Второй подход предполагает моделирование на ЭВМ приемов решения задач человеком.

Оба подхода нашли свое отражение при создании программ, играющих в шашки и шахматы.

Шахматная программа, написанная в соответствии с первым из этих подходов, была создана К. Шенноном в 1949 г. В основе программы лежит составление по каждому ходу игры оценочной функции, зависящей от числа фигур, их качества, мобильности и характера расположения на доске. Машина просчитывает оценочные функции, соответствующие ситуациям, возникающим после очередного хода, и выбирает нужный ход в зависимости от их величины. А. Самюэль усовершенствовал метод построения оценочной функции и успешно применил его для игры в шашки. Машина могла просчитывать до 20 полуходов, что обеспечивало значительную глубину просмотра позиции. Однако при игре в шахматы число возможных комбинаций значительно больше и с усовершенствованием оценочной функции шахматные программы существенно не улучшились.

В дальнейшем стало очевидно, что опытный шахматист оценивает шахматную фигуру не только по ее номинальной значимости, но прежде всего по ситуационной, зависящей от ее связи с другими фигурами и возникшей на доске обстановке. Потребовался другой подход, в котором воспроизводились бы особенности мышления шахматиста. Такой подход нужен был и для решения проблемы машинного доказательства теорем. Так возникло эвристическое программирование, имевшее целью привнести в машину те приемы, которыми пользуется человек в процессе решения задач.

Одним из первых ученых, серьезно занимавшихся теорией эвристических решений, был французский математик Д. Пойа. В книге «Как решать задачу», анализируя приемы решения задач, которые не являются алгоритмами и не гарантируют решения, он писал: «...серьезное исследование не может ставить своей задачей указать непогрешимые правила, как делать открытия. Эвристика рассматривает поведение человека при решении проблем... Эвристика ставит себе целью установить общие закономерности тех процессов, которые имеют место при решении всякого рода проблем, независимо от их содержания» [28].

Первую программу для ЭВМ, использующую эвристические принципы, описали А. Ньюэлл, Дж. Шоу и Г. Саймон в работе «Динамические исследования машины „логик-теоретик“. Пример изучения эвристик». Авторы так определили цель своей работы: «...разобраться в тех

сложных процессах („эвристиках"), которые сопровождают решение задач... мы не интересуемся методами, обеспечивающими решения задач, но требующими очень большого объема вычислений, а стремимся понять, каким образом, например, математик в состоянии доказать теорему, даже если он вначале не знает, как ему это сделать, и сможет ли он вообще ее доказать» [29].

Задачей программы «логик-теоретик» было доказательство теорем элементарной математической логики. При этом в машину вводятся переменные, правила логических действий, аксиомы, а также правила сравнения различных выражений. Используя все эти правила, программа позволяет найти логическое выражение, связывающее утверждение теоремы с исходными данными. Это выражение и является доказательством.

В 1957 г. авторы «логика-теоретика» разработали новую программу General Problem Solving (GPS), т. е. «Решение общих задач», в которой сформулировали общие эвристические правила для решения широкого круга задач как математических, так и технических. Программа работает с различными объектами, образующими предметную среду (математические выражения, геометрические фигуры и т. п.).

Эти же авторы разработали специальную программу для шахматной игры, в которой заложены эвристические правила такого порядка: «прежде чем атаковать, обеспечить безопасность своего короля», «держите под контролем четыре центральных поля» и т. д.

Отметим, что авторы первых эвристических программ рассматривали их как моделирование процесса мышления. При решении предложенных задач испытуемые составляли отчеты о ходе своих рассуждений. Затем выявлялись те эмпирические правила, к которым они при этом прибегали и на их основе составлялись программы для машин. Возможность решения неалгоритмизируемых в обычном понимании задач безусловно была важным шагом вперед. Первые успехи в области эвристического программирования, как и в других областях, связанных с искусственным интеллектом, вызвали иллюзию неограниченных возможностей «разумных способностей» машин. В 1957 г. Саймон и Ньюэлл писали: «...интуицию, инсайт (озарение) и обучение нельзя более считать исключительно прерогативой человека: ими располагает любая достаточно крупная быстродействующая ЭВМ, запрограммированная соответствующим образом...». И далее: «Не пройдет и десяти

лет, как цифровая вычислительная машина станет чемпионом мира по шахматам... найдет и докажет важную и до сих пор неизвестную математическую теорему... большинство психологических теорий примет форму программ для вычислительных машин или качественных утверждений о тех или иных характеристиках машинных программ» [30]. Эти прогнозы, однако, не оправдались, хотя в каждом из направлений (исключая третье) были достигнуты определенные успехи.

Использовавшиеся эвристические приемы фактически не имеют психологического содержания и позволяют говорить только об аналогиях: «...мы используем термин „эвристический" при определении любого принципа или устройства, которые вносят вклад в уменьшение среднего числа проб при решении» [31, с. 514], — отмечали авторы эвристических программ. Более того, мыслящий человек рассматривается ими как система обработки информации: «...все люди представляют собой системы обработки информации и поэтому обладают рядом общих фундаментальных признаков. Эти общие свойства порождают одинаковые характеристики, свойственные поведению всех людей при решении задач» [30]. Упрощенное представление о мыслящем человеке не позволило авторам правильно определить границы применимости своего метода.

О необходимости проявлять осторожность при использовании термина «эвристический» говорил Ван Хао, успешно применивший алгоритмические (не эвристические) методы для решения задач, о которых говорилось выше: «Слово эвристический обычно понимается как синоним для искусства открытий, однако оно означает лишь частный метод, который не гарантирует общего решения данной проблемы. Эта двусмысленность наделяет слово эмоциональным оттенком, который может вводить в заблуждение при дальнейших научных изысканиях. Более знакомое и менее вдохновляющее слово „стратегия", по-видимому, является более подходящим» [31, с. 528].

Советский ученый В. Н. Пушкин [32] в работе «Психология и кибернетика» вскрыл ограничения эвристического подхода. Одно из них состоит в разделении материала задачи, ее условий и операций, которые приводят к ее решению. В мышлении человека процесс решения задачи всегда связан с ее условиями. Другое ограничение (не позволяющее, в частности, применять GPS для шахматной игры) — нечеткая формулировка целей и средств во многих научных и практических задачах, делающая не-

приемлемыми эвристические программы. Наконец, сам ход мышления человека, оценивающего ситуацию, совершенно отличен от перебора вариантов, сокращенного эвристическими правилами.

Несмотря на трудности и принципиальные ограничения эвристического программирования, в ряде случаев оно позволяет весьма успешно решать сложные задачи. Это относится, например, к шахматной игре. На состоявшемся в 1977 г. Втором чемпионате шахматных программ между советской программой «Каисса» и программой США «Чесс-4» обе программы играли на уровне второго разряда. В том же 1977 г. под руководством М. М. Ботвинника была разработана программа «Пионер», использующая эвристические приемы мастера шахматной игры.

С развитием методов программирования и усовершенствованием вычислительных машин происходит расширение возможностей интеллектуальных программ, приближение их к практическим задачам. Большие успехи достигнуты здесь советскими учеными. В Институте кибернетики АН УССР под руководством В. М. Глушкова разработаны программы, ориентированные, в отличие от программы GPS, на сложные проблемные среды. В программе APROS (Adaptive Problems Solver) база данных организована в семантическую сеть. Авторы отказались от старого принципа, согласно которому модель среды («система знаний» машины) закладывается человеком. Программа является адаптивной в том смысле, что модель среды формируется в процессе работы с использованием так называемых растущих семантических сетей. При поиске стратегии решения задач используется эвристика. Программа способна к обучению, накоплению знаний при взаимодействии с внешним миром, что делает ее особенно эффективной в применении к роботам. Проведенные эксперименты подтвердили возможность применения программы для планирования действий роботов в реальных средах, в частности для перемещения объектов в среде с препятствиями и для сборки [33].

### Понимание текста и машинный перевод

Выражение мыслей с помощью слов, речи является непременной принадлежностью интеллекта, поэтому задача обучения машины пониманию естественного языка привлекала внимание исследователей с самого начала работ в области искусственного интеллекта. Эта проблема

имеет фундаментальное значение сама по себе, помимо моделирования соответствующих психических способностей человека. Как справедливо считает Д. А. Поспелов, «естественный язык является самой мощной из известных нам сегодня моделирующих действительность систем» [34]. Значит, машина, понимающая язык, была бы вместе с тем и средством моделирования внешнего мира.

Однако необходимо разобраться в том, что подразумевается под «пониманием» текста машиной. Анализ известных работ в этом направлении показывает, что во всех случаях речь идет об имитации лишь внешней стороны этого понятия. Сущность того, что обычно называется пониманием в общении людей, оставалась вне поля исследования.

Формой проявления понимания текста машиной является перевод его на другой язык. При этом необходимо существенно ограничить круг (по сравнению с естественным языком) возможных ситуаций и соответствующую предметную область (ведь трудно представить, чтобы машина могла понять и перевести на другой язык, например, рассуждения Раскольникова).

Работы в области машинного перевода начались в 50-х годах. Первые шаги были сделаны А. Эттингером, который в 1954 г. составил для этого специальную программу, позволявшую переводить слова и группы слов с одного языка на другой, не придерживаясь смысла текста. Такой перевод был очень далек от настоящего, поскольку оставалась нерешенной основная задача — выбора в языке, на который мы переводим, подходящего слова, соответствующего исходному слову в данном контексте, и соответствующей структуры предложения, для человека очевидной [35]. Заметим, что слова, с которыми оперирует машина, можно было бы заменить любыми символами и, таким образом, речь шла об установлении определенных связей между этими символами. Бóльшая часть подобных программ работала, отвечая на вопросы, относящиеся к их предметной области.

Некоторым шагом вперед была программа «Элиза», составленная в 1965 г. американским исследователем Д. Вейценбаумом. Эта программа могла вести беседу с человеком, задавая в свою очередь ему вопросы. Естественно, что круг вопросов, которые можно было задавать машине, заранее оговаривался (в программе был заложен сценарий беседы психотерапевта с пациентом, что созда-

вало довольно сильную иллюзию понимания пациента машиной) [36].

Как всегда в таких случаях, успех машинной программы породил упрощенное представление о соответствующей деятельности человека. Например, утверждалось, что психотерапевта (человека) можно рассматривать как систему обработки информации и принятия решений, снабженную множеством решающих правил, подсказывающих, что следует и чего не следует говорить в определенных ситуациях [36, с. 237]. Это служит хорошим подтверждением общей ситуации в области искусственного интеллекта, когда при его сопоставлении с человеческим разумом рассматривается не интеллектуальная деятельность человека как таковая, а определенная психологическая абстракция [37, с. 113].

Проблема машинного перевода включает в себя задачи понимания входного языка и получения текста на выходном языке, причем первая задача является более сложной. На примитивном уровне понимания машина должна обладать системой представлений в рамках темы беседы, и эта система должна быть близкой к системе представлений собеседника. При разговоре двух людей обычно проявляется более высокий уровень понимания: собеседники используют имеющийся у каждого из них образ партнера, его представлений, особенности реакции, черты личности и т. п. Такой образ, однако, может создаться лишь в течение длительного общения с партнером и на основе собственного жизненного опыта, что, по-видимому, недоступно машине. «Машинное понимание» возможно в тех сферах деятельности человека, где структура сообщений лучше организована, например в диспетчерской службе. Творческая же деятельность, подверженная глубоким эмоциональным воздействиям, по-видимому, имеет наименее организованную структуру и поэтому не может быть понята машиной (ради справедливости заметим, что полное понимание редко встречается и среди людей).

Суть различия в понимании сообщения человеком и машиной заключается в том, что в сознании человека при этом возникают образы, которые составляют «контекст» сообщения, а машина выявляет лишь формальную (логическую и синтаксическую) структуру сообщения. Это и есть тот подводный камень, о который разбились наиболее смелые прогнозы в области машинного перевода.

## Распознавание образов

Аналогичные трудности возникают и при распознавании образов машиной. Как и в случае понимания текста, распознавание зрительных образов основано на определенной системе понятий. Если ограничить область возможных образов, то задача распознавания вполне поддается решению. Например, если машине предъявлять только куб, конус и шар в различных комбинациях, то она может сделать суждение о том, какие объекты и в каком порядке расположены перед ней. Но, если класс наблюдаемых объектов становится менее определенным, задача намного усложняется. Ее решение уже требует опыта обращения с физическими предметами, знания свойств этих предметов. Таким образом, мы вновь сталкиваемся с необходимостью формирования некоторой, пусть примитивной, системы знаний в машине, чтобы решать даже простые задачи распознавания.

Особенностью восприятия человека является абстрагирование образов из потока информации. Формирование обобщенных образов предметов позволяет узнавать их независимо от конкретной реализации. Остается нерешенным вопрос: доступно ли такое обобщение машине? Машина без труда распознает азбуку Морзе и печатные буквы заданного шрифта, а распознать рукописный текст не может. В этой задаче возникают принципиальные трудности. Одна из них — выявление существенных свойств изображения, признаков, которые не менялись бы при изменении ориентации изображений, их размеров, при искажении изображений в определенных пределах.

* * *

Подводя итог результатам, достигнутым в решении проблем искусственного интеллекта, необходимо отметить качественный скачок, происшедший в области использования вычислительных машин. Из большого арифмометра машина превратилась в средство решения ряда интеллектуальных задач, считавшихся до этого привилегией человека. Утверждение, что машина вычисляет только то, что заложено программистом, перестало быть верным. Машина может получать результаты, которые программисту не были известны, используя при этом приемы мышления программиста. В основе всех возникающих при этом непредвиденных трудностей лежит специфика чело-

вeческого интеллекта. Возникает вопрос: существуют ли принципиальные ограничения «интеллектуальной» деятельности машин? Или, в другой плоскости: можно ли человеческое мышление свести к вычислительно-логическим процедурам и преобразованиям информации?

## ОСОБЕННОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Чтобы установить, имеются ли принципиальные ограничения на пути искусственного интеллекта, или же возможности его неограниченны, другими словами, может ли машина превзойти своего создателя как мыслящее искусственное существо, рассмотрим вкратце особенности человеческого разума и сопоставим их с машинными методами решения интеллектуальных задач.

### Целеполагание

В основе всякой разумной деятельности человека лежит целеполагание, т. е. выбор цели деятельности. Следует отличать целеполагание от целесообразности или целенаправленности поведения. Целесообразной является работа отдельных органов человека, работа машин, робот также совершает целенаправленные движения. Что же касается целеполагания в его точном понимании, то оно свойственно только человеку.

Всякая задача, решаемая роботом, может быть разбита на подзадачи. Выбор одной из таких подзадач, т. е. выбор конкретной цели из множества целей, может осуществляться автоматически роботом в зависимости от конкретной обстановки, условий работы и т. п. Например, представим себе автоматического робота-исследователя, работающего на Марсе. При выполнении общей задачи — исследовании заданного района планеты — робот решает частные задачи: пополнение запасов энергии по мере ее использования, сохранение своей целостности при возникновении критических ситуаций, обеспечение связи с Землей и т. п. При этом выбор одной из таких задач в зависимости от ситуации делается роботом. Тем не менее предварительное определение как общей, так и частных задач закладывается человеком в программное обеспечение создаваемого им робота с учетом его технических возможностей.

Не следует понимать этот вопрос упрощенно: современные автоматические робототехнические устройства спо-

собны к обучению и ориентированию в своей деятельности. Возможно построение роботов, применяющих случайный выбор стратегии поведения в необычной ситуации. Такой автомат обладает определенной «свободой действий» и может реализовать движение, которое не было заложено заранее в программу. Именно эта сложность поведения робота и создает иллюзию не только «свободы действий», но и «свободы воли», т. е. осмысленного определения цели.

Заметим, что решение человеком частных двигательных задач, например перевод руки в заданное положение, выполняется без участия сознания. В таком случае уместна аналогия между частными целями робота и человека. Однако в процессе сознательного целеполагания эта аналогия теряется. В основе целеполагания человека лежит потребность, мотивация. Потребность может быть органической (в пище, укрытии и т. п.), ориентировочно-поисковой, познавательной и т. д. Потребность определяет цели и вызывает активные действия человека, направленные на их осуществление. При этом принимается в расчет наличие благоприятной ситуации. «Пока такой ситуации нет,— пишет Д. Н. Узнадзе,— потребность продолжает оставаться индивидуализированной. Но достаточно появиться определенной ситуации, нужной для удовлетворения этой потребности, чтобы у субъекта возникла конкретно очередная установка и он почувствовал бы в себе импульс к деятельности в совершенно определенном направлении» [38, с. 21].

Цели могут также определяться желаниями, интересами, просто любознательностью. Воля человека проявляется в достижении именно таких «интеллектуальных» целей нередко вопреки удовлетворению потребностей, стоящих на более низком уровне.

Одно из проявлений волевой активности человека — активность созданных им роботов, лишенных собственных потребностей, мотивов и собственного волевого начала. Как писал А. Н. Колмогоров, «целесообразная работа машин не имеет никакой самостоятельности и является лишь техническим придатком к целесообразной деятельности человека... Благодаря этому своему конкретному характеру кибернетика ни в какой мере не сводится к философскому обсуждению природы „целесообразности“ в машинах и живых организмах, не заменяя также собой общего философского анализа изучаемого ею круга явлений» [39]. Понятие цели не следует привносить в теорию управления. Целеполагание является предметом психоло-

гии, а не кибернетики. Именно то, что целеполагание связано с сознанием и с идеальным представлением о конечном результате деятельности и делает его привилегией человека. Здесь уместно вспомнить слова Ф. Энгельса: «В природе ... нигде нет сознательной, желаемой цели: ни в бесчисленных кажущихся случайностях ... ни в окончательных результатах, подтверждающих наличие закономерности внутри этих случайностей. Наоборот, в истории общества действуют люди, одаренные сознанием, поступающие обдуманно или под влиянием страсти, стремящиеся к определенным целям. Здесь ничто не делается без сознательного намерения, без желаемой цели» [40, с. 305—306].

Если поставить вопрос о том, чем же обусловливаются мотивы поведения, лежащие в основе целеполагания, то окажется, что в большинстве случаев они обусловлены социальными факторами. Действительно, такие чувства, как любовь, ненависть, восприятие добра и зла, жадность и альтруизм — все это складывается в процессе сознательной общественной жизни человека и имеет глубоко индивидуальный характер. Чтобы воссоздать мотивацию, нужно воссоздать весь внутренний мир человека, сложившийся в процессе его социального опыта. Эта задача не под силу роботам, поскольку они лишь орудия труда, но не социальные объекты. Мотивацию можно смоделировать на машине. Но, даже если вычислительная машина могла бы имитировать чувства отчаяния и любви, разве она могла бы их испытать?

### Формирование образа

Человек воспринимает внешнюю среду и свое собственное состояние с помощью органов чувств — рецепторов: зрительного, слухового, двигательного, осязательного, вкусового, обонятельного. В этом усматривается аналогия с роботом, также «воспринимающим» информацию о внешней среде с помощью датчиков, например телевизионных, акустических, тактильных, датчиков положения, скорости, силы и т. п. Эта информация обрабатывается в ЭВМ, позволяя роботу принять правильное решение о своем дальнейшем поведении, или продолжить работу по прежнему алгоритму. В чем принципиальная разница между восприятием информации роботом и человеком?

Разница состоит в том, что сигналы рецепторов становятся в мозгу человека образами внешней среды. В част-

ности, «...световое воздействие вещи на зрительный нерв воспринимается не как субъективное раздражение самого зрительного нерва, а как объективная форма вещи, находящейся вне глаз» [41, с. 82]. Установлено, что глаз дает нам значительно меньшую информацию и худшего качества, чем мы видим на самом деле. Мы сами достраиваем образ внешних предметов по их основным признакам на основе предшествующего жизненного опыта. Так же обстоит дело и с другими органами чувств (рецепторами). Воспринимая на ощупь предмет, который уже встречался нам раньше, мы легко представляем его себе целиком. В этом смысле говорят о предметном значении рецепторных сигналов.

Формирование способности предметного восприятия внешних сигналов происходит в процессе накопления опыта взаимодействия с внешней средой, в процессе обучения. Благодаря образному восприятию действительности человек строит в своем сознании адекватную модель внешнего мира и правильно организует свое поведение. Образное восприятие проявляется не только в повседневном поведении человека, но и при решении им интеллектуальных задач, например при игре в шахматы.

Робот тоже может строить модель внешней среды. Например, воспринимать с помощью телевизионной камеры и дальномера трехмерную информацию об обстановке в зоне действия манипулятора, обрабатывать эту информацию таким образом, чтобы распознавать предметы и их пространственное расположение и в результате правильно строить целенаправленные движения исполнительного органа. Налицо цифровая модель внешней среды в памяти ЭВМ. Но эта модель лишь определенным способом организованная информация, а образ, возникающий в сознании человека и являющийся отражением внешней среды, принадлежит его субъективному миру, сформировавшемуся в течение всей его предшествующей жизни. Этот образ неизмеримо богаче комплекса информации у робота, он отражает объективную реальность, но носит субъективный оттенок, так как одно и то же явление может восприниматься по-разному различными людьми и в разных жизненных ситуациях.

В психологии различают два вида образов: когнитивные, в которых сосредоточена вся доступная информация об объекте (так сказать, образцы-склады), и оперативные — возникающие в процессе выполнения практических действий и предназначенные для решения определенных

задач [42]. Отсюда следует известная аналогия между когнитивными образами и образами, содержащимися в памяти ЭВМ. Что же касается аналогии между оперативными образами и фрагментами обстановки, распознаваемыми роботом, то она весьма условна. Хотя образ формируется в процессе выполнения практических задач и подчинен задаче формирования дальнейшего движения робота, он находится в зависимости от задач, круг которых заранее определен и достаточно узок. При возникновении новых задач, которые не были заранее учтены, например при появлении предмета неизвестной для робота формы, машина не сможет распознать этот предмет, осмыслить ситуацию и принять целесообразное решение о дальнейшем движении.

Особенность формирования образов у человека состоит в том, что процесс восприятия является частью процесса мышления, происходящего порой бессознательно (подсознательно). Обращаясь вновь к шахматной игре, заметим, что шахматист высокого класса использует весьма общие признаки оценки ситуации: «развитие фигур», «контроль над центром», «слабый королевский фланг». Наконец, в ряде случаев мастеру очевидны без предварительного анализа такие оценки, как, например, «позиция белых выигрышна». Такое восприятие ситуации в психологии рассматривается как мгновенное в отличие от последовательного восприятия. В последнем случае человек получает представление об объекте в целом, предварительно анализируя отдельные его признаки. Последовательное восприятие может быть смоделировано в роботах. Что же касается мгновенного восприятия, то это особый психический процесс, при котором восприятие целого опережает восприятие частностей; он не может быть реализован машиной. Примером, убеждающим нас в этом, является распознавание человеком рукописного текста. Нечеткое написание отдельных букв, допускающее различную интерпретацию, не является препятствием к чтению, поскольку человек подсознательно учитывает контекст.

### Мышление

В мышлении человека различают три фазы — образное, абстрактно-логическое и подсознательное, которое И. М. Сеченов называл внечувственным мышлением и считал высшей фазой мышления. Грани между этими фазами

весьма условны: все три фазы представляют собой разные стороны единого процесса мышления, та или иная фаза может преобладать на определенном этапе решения интеллектуальной задачи. Например, при проектировании машины образное мышление играет важную роль на этапе определения общих требований и при конструировании. В то же время при расчетах прочности, вибростойкости, устойчивости образное мышление уступает абстрактно-логическому. Подсознательное мышление присутствует на всех этапах решения задачи, особенно же отчетливо проявляется в научном и художественном творчестве. А. Эйнштейн писал: «Для меня не подлежит сомнению, что наше мышление протекает, в основном, минуя символы (слова), и к тому же бессознательно. Если бы это было иначе, то почему нам случается иногда „удивляться", притом совершенно неожиданно, тому или иному восприятию? Такое „удивление", по-видимому, наступает тогда, когда восприятие вступает в конфликт с достаточно установившимся в нас миром понятий» [43].

Оставляя в стороне вопрос о подсознательном, поскольку подсознательные процессы нельзя реализовать в машине уже в силу отсутствия их описания, остановимся на аналогиях образного и формального логического мышления человека и машинных программ.

Наибольшее внешнее сходство с процессом мышления обнаруживают эвристические программы, однако аналогии здесь являются условными, поскольку мышление нельзя сводить лишь к процессу обработки информации.

Остановимся на тех особенностях человеческого мышления, которые не могут быть объяснены только процессами переработки информации. Отметим вначале, что сам термин «информация», когда речь идет о машинных программах, употребляется не в том смысле, в каком его используют в повседневной жизни. Здесь термин «информация, заключенная в сообщении» никак не связан со смыслом этого сообщения или его значением. Один бит информации — это наличие в сообщении одной из двух равновероятных альтернатив. А когда мы говорим, что человек воспринимает или обрабатывает информацию, то всегда связываем ее с определенным смыслом. Благодаря восприятию смысла информации мы, в частности, понимаем друг друга, несмотря на то что не придерживаемся в своей речи столь же строгих семантических правил, которые применяются при составлении машинных программ. С этой проблемой столкнулись уже первые ис-

следователи задач машинного перевода, обратившие внимание на «загадочные» семантические процессы, благодаря которым большинство людей правильно интерпретирует бо́льшую часть осмысленных предложений разных по форме, но одинаковых по смыслу. При интерпретации некоторого высказывания человек принимает во внимание конкретную обстановку, свои знания о затронутых вопросах, оценку личности собеседника и многое другое.

Нечто подобное происходит и при решении математических задач. Так, при исследовании эвристической структуры процесса решения задачи выделяются две фазы. Во-первых, надо понять задачу, т. е. ясно представить себе, что дано, в каких условиях дано и что мы ищем. Во-вторых, составить план, который приведет к решению [44]. Второй этап в известной степени поддается формализации и реализуется в машинных программах, а первый, весьма существенный, обычно оставляется в стороне специалистами по искусственному интеллекту. Понятия, которыми пользуется человек, трудно формализовать (существует мнение, что этого нельзя сделать вообще).

При решении задач искусственного интеллекта используются формальные понятия. Процедура образования «машинного понятия» соответствует проверке ряда признаков, которым должна удовлетворять ситуация, задача или исследуемый объект. Понятия, сложившиеся на основании всего опыта практической деятельности человека, принципиально отличаются от «машинного понятия» — при восприятии ситуации и отнесении наблюдаемого к определенному понятию человек вообще может не обращаться к каким-либо четким признакам.

Таким образом, нечеткость признаков и понятий, зависимость смысла от контекста, отсутствие четких правил поведения, наличие подсознательного в мышлении — все это не поддается формализации. К этому добавим зависимость мышления от цели (о чем говорилось выше). В самом деле, действия или мысли другого человека понятны нам только тогда, когда мы знаем (или думаем, что знаем) его истинные цели.

Еще один аспект мышления, не поддающийся моделированию, состоит в том, что мышление не сводится к процессу обработки и преобразования информации, но сопряжено с психическими процессами, в том числе с эмоциями человека, проявляющего интерес, страх, разочарование.

### Эмоции

Эмоциональная окраска свойственна всей цепи разумного поведения человека, начиная с потребности и целеполагания, далее при планировании своих действий и их реализации, наконец, при оценке результатов, когда человек ощущает чувство удовлетворения или разочарования, радости или отчаяния. Эмоции играют важную роль при решении интеллектуальных и поведенческих задач и во многом определяют их результаты. А в какой мере эмоциональное поведение может быть свойственно роботу?

Ведущий советский специалист в области управления академик В. М. Глушков, например, считает, что наделить соответствующие программы формами проявления эмоций и другими индивидуальными чертами характера не представляет особого труда и что эта задача проще, чем задача программирования рассудочной деятельности в сколько-нибудь широкой области [45]. Однако следует отдавать себе отчет в существенном различии человеческих и «машинных» эмоций.

Роль эмоций в мышлении и поведении человека нередко представляется упрощенно, например, сводится к регуляции информационных процессов, лежащих в основе мышления человека, которые могут быть воспроизведены в робототехнике [46]. В минуту опасности обычная программа под действием «эмоций» может быть заменена программой защиты или спасения. Такое описание действия эмоций имитирует некоторые внешние черты эмоционального поведения человека. Помимо смены программ при изменении обстановки, можно предусмотреть также повышение интенсивности процессов поиска и принятия решений, возрастание быстродействия ЭВМ и т. п.

Советский физиолог П. В. Симонов рассматривает эмоции как компенсаторные механизмы, восполняющие дефицит информации, необходимой для достижения цели [47]. Благодаря эмоциям человек может успешно действовать в неопределенных условиях и нетрадиционно решать сложные задачи. Такая точка зрения также базируется на информационном подходе и определяет другой важный аспект эмоционального поведения, в меньшей мере поддающийся формализации.

Нетрудно, однако, заметить, что информационный подход затрагивает лишь внешнее проявление эмоций, а их сущность оказывается за пределами рассмотрения. Эмоции являются частью внутреннего мира человека,

создававшегося в его сознании в течение всей жизни. В этом мире есть более или менее значимые для человека объекты и ситуации; есть цели, опасности и т. п. Эмоции непосредственно связаны с потребностями, мотивациями, целями человека, и поэтому их проявление сугубо индивидуально. Эмоции позволяют выбрать цель с учетом внутренней системы ценностей и побуждают человека к активной деятельности, при этом связь между целями и эмоциями не всегда однозначна. Человеку иногда не сразу ясно, чем обусловлено его беспокойство и неудовлетворенность. Понимание правильно выбранных действий происходит после того, как эти неприятные ощущения снимаются и наступает чувство удовлетворения. Таким образом, эмоции могут приводить не к непосредственной постановке цели, а к поиску средств удовлетворения данных эмоций. Такой поиск, в частности, характерен для художественного и научного творчества, движимого интересом, любопытством, желанием преодолеть возникшие трудности. Понятие ценности для человека, в отличие от функции полезности для машины, обусловлено всей структурой его внутреннего мира и не может быть, по существу, воспроизведено с помощью машины. Бессмысленно говорить о том, что робот может испытывать чувство удовлетворения при успешной работе, огорчаться или разочаровываться при неудаче.

**Творческие способности**

Существует точка зрения, что творческие способности принципиально отличают человека от «интеллектуальной» машины и никогда не могут быть воспроизведены последней. Однако нет единства взглядов, что же считать творческими способностями. По мере того как машины «овладевают» все новыми задачами, относившимися ранее к творческим, такие задачи объявляются нетворческими и дискуссия возобновляется с исходной позиции. Так, в частности, задача составления сложных программ не так давно считалась привилегией программиста и относилась к творческим задачам. В настоящее время разработано математическое обеспечение, которое позволяет машине составлять, к примеру, систему нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка, описывающих движение манипулятора [6].

Попробуем разобраться, в чем же состоит специфика творчества. В книге Ю. Ф. Орфеева и В. С. Тюхтина

«Мышление человека и искусственный интеллект» приводятся три признака творчества [16]. Во-первых, это новизна результатов творческого процесса. Причем степень новизны зависит от субъекта или общества в целом, воспринимающих продукт творчества. Одно и то же произведение обладает различной новизной для людей, имеющих разную подготовку, разный культурный уровень и т. д. Второй признак творчества — общественная значимость его результатов.

Если первые два признака относятся к предмету творчества, то третий характеризует сам процесс: творчество является активно-поисковым психологическим процессом. Ведущую роль в нем играют как раз те неформализуемые факторы, о которых мы говорили выше: проблемная ситуация, целеполагание, творческое воображение, возникновение догадок и гипотез, наконец, эмоциональный фон всего творческого процесса. Существенным фактором творческого мышления является использование усвоенного и преобразованного общественно-исторического опыта.

Признаки, относящиеся к результату творчества, в известной степени могут быть реализованы с помощью ЭВМ. В частности, новый результат может быть получен путем применения формальных логических операций или эвристических программ. Таким образом, границы, отделяющие творческие задачи от нетворческих, очень условны, если говорить о результатах.

Что же касается процесса творчества, то здесь провести аналогию с машиной значительно труднее. В чем особенности тех факторов творческого процесса, которые не поддаются формализации? Прежде всего мотивация, целеполагание в творчестве могут носить значительно более отвлеченный характер, чем, например, в шахматной игре или при решении математических задач. Вот что пишет об этом А. Эйнштейн: «Человек стремится каким-то адекватным способом создать в себе простую ясную картину мира для того, чтобы в известной степени попытаться заменить этот мир созданной таким образом картиной. Этим занимается художник, поэт, теоретизирующий философ и естествоиспытатель, каждый по-своему. На эту картину и ее оформление человек переносит центр тяжести своей духовной жизни» [48]. Столь неопределенная мотивация тем не менее способна создать мощный импульс активности: известно, что многие выдающиеся писатели, художники, ученые не могли противостоять влечению к творческой дея-

тельности. По-видимому, вдохновение навсегда останется привилегией человека.

Творческое воображение направляется мотивацией и связано с индивидуальным опытом человека, приобретенным в течение жизни. В этом процессе участвует не только образное мышление, но и подсознание, являющееся источником неожиданных догадок, гипотез. Глубоко индивидуальный опыт ассоциаций используется при этом сознательно или подсознательно в качестве подсказок, намеков при решении определенных задач. В процессе фантазирования (если можно так выразиться) человек извлекает из своей памяти образы, ассоциации и формирует из них новые сочетания в соответствии с замыслом своего произведения.

Отдельные аспекты творческой деятельности поддаются моделированию на ЭВМ. Например, так называемый усилитель умственных способностей У. Р. Эшби позволяет случайным образом генерировать решения и отбирать их по заранее заданному критерию [49]. Аналогичный (но значительно более простой) процесс имеет место при решении задач оптимизации методами случайного поиска. Очевидно, что подобный способ решения предполагает выделение достаточно узкого класса задач. При этом возможности ЭВМ позволяют найти решение значительно быстрее, чем это сделал бы человек. Однако по мере усложнения задач, расширения их условий и, наконец, при рассмотрении тех задач, которые мы привыкли относить к творческим, метод случайного перебора становится нецелесообразным.

Машинным аналогом формирования ассоциативного опыта являются самообучающиеся программы, в которых исходная программа перестраивается в результате анализа изменяющейся среды или объектов работы. Тем не менее выделение признаков, по которым происходит перестройка, обусловливается программистом заранее: система не может проявить активности на этом уровне.

Таким образом, в лучшем случае мы имеем внешнее сходство с процессом творчества, которое сразу теряется, как только делаются попытки выйти за тот узкий класс задач, для которых составлены данные программы. Многочисленные программы моделирования творчества фактически остаются программами эвристических процедур и случайного поиска, не имеющего по своей сути ничего общего с процессом человеческого творчества.

Отрицая аналогии между существом творчества челове-

ка и работой машины, нельзя отрицать важность исследования творчества методами точных наук. Эти методы позволяют проанализировать интуитивную творческую деятельность человека, столь важную в работе композитора, поэта, ученого. Однако моделирование истинно творческой деятельности недоступно машине. Помимо причин, указанных выше, не следует забывать и о роли социальных факторов, о взглядах личности на современное ему общество и взглядах общества в целом. Об этом хорошо сказал академик А. Н. Колмогоров: «Возможно, что автомат, способный писать стихи на уровне больших поэтов, нельзя построить проще, чем промоделировав все развитие культурной жизни того общества, в котором поэты реально развиваются» [50].

Итак, мы выяснили, что существуют неформализуемые аспекты человеческого интеллекта. Они обусловлены особенностями психики человека, во многом еще неясными до конца, а также его опытом. Человек является продуктом эволюции — своей собственной эволюции как личности и эволюции человечества в целом. Весь опыт, накопленный в процессе эволюции, в той или иной степени применяется им при решении интеллектуальных задач.

Вместе с тем, касаясь всех упомянутых выше особенностей естественного интеллекта, невозможно провести четкую границу между тем, что может и чего не может машина. Такой границы нет. По мере развития науки и техники, по мере все более глубокого познания человеком самого себя будет, безусловно, происходить все более полная автоматизация его интеллектуальных функций. Об этом писал В. М. Глушков: «...принципиально ясна техническая возможность построения систем машин, которые могли бы не только решать отдельные интеллектуальные задачи, но и осуществлять комплексную автоматизацию таких высокоинтеллектуальных творческих процессов, как развитие науки и техники ... Во второй половине XX столетия задача широкой автоматизации умственного труда стала не только гипотетической возможностью, но и реальной исторической необходимостью» [51].

Сам термин «неформализуемые стороны интеллекта» основан на нашем современном представлении о формальном аппарате научных исследований. Этот аппарат приемлем для построения математических теорий, для формализации результатов эмпирических наук. Однако он мало подходит к описанию процессов мышления. Эволюция формального аппарата, которая позволит приблизиться

к такому описанию, уже началась. Одним из перспективных направлений здесь является метод нечетких множеств, предложенный Л. Заде [52]. В отличие от формальной логики, основанной на двух понятиях — «истина» и «ложь», теория нечетких множеств позволяет формализовать семантику выражений, близких к естественному языку и содержащих степени качества: немного, более или менее, вполне, очень и т. п. Этим в большей мере учитываются некоторые человеческие особенности при решении задач искусственного интеллекта.

Тем не менее на каждом из этапов дальнейшего развития науки сохранятся неформализуемые стороны человеческого интеллекта. Знание этих сторон всегда будет необходимо в первую очередь для правильной постановки задач.

На сегодня можно констатировать, что существует принципиальное различие между интеллектом человека и интеллектом действующих роботов, а также роботов ближайшего будущего. Однако каждый шаг вперед в кибернетике позволяет решать проблемы, до этого считавшиеся неразрешимыми. Одной из таких проблем является сочетание искусственного интеллекта с трудовой деятельностью робота.

## «РАЗУМНОЕ ПОВЕДЕНИЕ» РОБОТОВ И ПРОЦЕСС ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Поскольку автоматический робот управляется вычислительной машиной, рассмотренные выше ограничения, возникающие при решении задач искусственного интеллекта на ЭВМ, в равной степени справедливы и для него. Вместе с тем робот существенно отличается от вычислительной машины тем, что он наделен «органами чувств», а также средствами воздействия на окружающую среду — механическими руками, снабженными соответствующими инструментами. Машина получила возможность активно добывать информацию об окружающей среде, выполнять механическую работу, перемещаться и совершать прочие целенаправленные действия. Естественно, что такое расширение возможностей машины затрагивает и возможности ее искусственного интеллекта. Действительно, многие интеллектуальные функции были бы недоступны человеку, если бы он не обладал столь развитой сенсорной и двигательной системами.

Именно совмещение функций искусственного интеллек-

та с активной трудовой деятельностью робота позволяет существенно продвинуться и в решении проблем искусственного разума. Эта точка зрения сейчас поддерживается многими специалистами по искусственному интеллекту, работающими в области робототехники. Можно утверждать, что в наше время происходит переход от «интеллектуальных» вычислительных машин (сохраняющих и далее свое значение) к «интеллектуальным», или, как мы раньше условились именовать уже без кавычек, интеллектным, роботам. Этот переход представляет собой качественный скачок как в области искусственного интеллекта, так и в кибернетике в целом. Он ознаменовался тем, что вычислительные машины обрели органы чувств, механические руки, средства передвижения и благодаря этому включились в предметную деятельность людей, в том числе в технологические процессы производства. Как отмечал В. М. Глушков, интеллект, соединенный с возможностями робота,— «это уже интеллект в широком смысле слова, способный, подобно человеку, реализовать все три составные части известной ленинской гносеологической формулы: „От наглядного созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике“» [45, с. 150].

Рассмотрим основные направления, в которых искусственный интеллект вычислительной машины дополняется активностью робота. Если при анализе проблем искусственного интеллекта важную роль играло сопоставление функций машины и мыслительных возможностей человека, то теперь область такого сопоставления должна быть расширена. При сопоставлении возможностей интеллектного робота и человека следует учитывать не только мыслительные способности последнего, но и его способности к восприятию внешнего мира, а также к активному взаимодействию с внешним миром, включая процессы трудовой деятельности.

## Восприятие внешнего мира с использованием двигательной активности

Примером роботов, в которых восприятие внешнего мира сочетается с двигательной активностью, являются системы типа глаз—рука. Они включают в себя средства наблюдения (телевизионные, фотоматричные) и механические руки. Такие системы уже используются на производстве, но в основном пока являются объектом исследований с целью дальнейшего усовершенствования интеллектных

роботов. Например, разработана система глаз—рука, общающаяся с оператором на естественном языке [36, с. 253]. Объектная область такой системы ограничена небольшим набором предметов (кубиков, призм и т. д.). Оператор может давать роботу указания или задавать вопросы такого характера: «Возьми красный кубик и положи его в коробку» или: «Что находится на столе справа?» В свою очередь робот обращается с вопросами к оператору, если указания того не вполне понятны, и отвечает на вопросы оператора.

Значительный интерес представляют такие задачи, в которых получение роботом сенсорной информации является активным процессом, необходимым для выполнения задач, поставленных оператором. Например, роботы, имеющие тактильные датчики, «ощупывают» неизвестные предметы, чтобы определить их форму. Алгоритм исследования предметов роботом может быть построен на основе анализа соответствующих движений человека. Таким образом, робот моделирует гностическую (познавательную) деятельность оператора.

Другой пример: робот, имеющий силовые и моментные датчики, расположенные на схвате или в запястье механической руки. Такой робот может использоваться при сборке деталей, например вал—втулка. Ощущая направление и величину сил реакции при неточностях, перекосах, робот корректирует движение сопрягаемой детали [53]. На начальном этапе сборки он может совершать пробные движения, чтобы найти нужное положение вала. Силовая обратная связь имеет важное значение и при управлении шагающими роботами [54]. Таким образом сочетаются гностическая деятельность и деятельность, непосредственно направленная на выполнение операции. Анализ того, как выполняется операция человеком, позволяет воспроизвести соответствующие процессы с помощью робота.

Разберем более подробно вопрос о том, каким образом обеспечивается информация о внутренних и внешних раздражителях в организме человека. При этом нас будет интересовать не устройство соответствующих рецепторов и нервных путей, а значение различных видов обратных связей в организме — афферентных воздействий. По этому признаку различают четыре типа таких воздействий: обстановочные, установочные, пусковые и обратные [55].

Обстановочная афферентация — это сложный комплекс различных воздействий, дающих общие представления об окружающей обстановке. Это представление определяет и

реакцию человека, которая зависит от обстановки. Пусковая афферентация — это стимул, который приводит к определенной деятельности организма. Примером здесь может служить условный рефлекс животного, выработанный на данный раздражитель. Пусковая афферентация тесно связана с обстановочной: изменение обстановки может привести к нарушению условного рефлекса. Обратная афферентация информирует о результатах совершенного действия, давая возможность оценить его успех или неуспех. Например, человек может судить о том, что он взял стакан чая, на основании комплекса ощущений — тактильных, температурных, весовых. Восприятие этого комплекса ощущений и есть обратная афферентация. Следует различать обратную афферентацию и мышечную (проприоцептивную) информацию, которая постоянно используется в процессе движения руки,— это информация о напряжении мышц, положении руки в пространстве. Такая информация может не восприниматься сознанием и не дает никаких сведений о том, достигнута ли цель движения. В связи с этим П. К. Анохин предостерегает от переоценки роли проприоцептивной обратной связи, которая является прямым аналогом обратной связи в автоматической системе. Природа афферентации в организме намного сложнее, чем простая обратная связь, поскольку всегда основана на восприятии комплекса ощущений и опыте индивидуума по распознаванию таких комплексов.

Обратную афферентацию можно подразделить на этапную—результат выполнения этапа деятельности и конечную — результат выполнения всего поведенческого акта. Например, установка детали на токарном станке включает в себя отдельные этапы — найти подходящую заготовку, взять ее, поднести к станку, установить, включить станок и т. д. При многократном повторении такой операции вырабатывается навык и для ее реализации необходим уже минимум обратной афферентации. Этот минимум П. К. Анохин называет ведущей афферентацией.

Обратившись к робототехнике, можно теперь заметить основные различия между системой очувствления робота и афферентацией у человека. Человек обладает целым комплексом ощущений, воспринимаемых им с помощью рецепторов различных модальностей (т. е. различных органов чувств). Возможности роботов существенно ограничены прежде всего потому, что они имеют только те рецепторы, которые важны для их практической деятельности (робот, не имеющий обоняния, не сможет отличить

яблоко от воскового муляжа, т. е. ему доступны лишь однозначные ситуации).

Несовершенство рецепторов в значительной мере восполняется возможностью для робота гностической деятельности, предшествующей выполнению рабочих операций. Едва ли можно предположить какие-то ограничения в будущем на возможности роботов в опознании физических свойств объектов внешнего мира. Но будет ли решена в полной мере задача восприятия, если снабдить робот сразу всеми известными типами датчиков? По-видимому, на этот вопрос надо ответить отрицательно, ибо комплекс ощущений у человека не является их простой суммой. Это нечто целое, позволяющее судить о результатах действий или об обстановке лишь на основании всего предыдущего «чувственного» опыта человека. Используя взаимодополняющие восприятия, человек создает образ предметов, ситуаций или воздействий, что и позволяет ему успешно выполнять свою деятельность.

К этому надо добавить, что, как только мы поставим вопрос о распознавании в смысле соотнесения наблюдаемых объектов с определенным классом объектов, с понятием, мы тут же вернемся к концептуальным трудностям (см. с. 44). Здесь возможности робота ограничены словарем понятий и отношений, заложенных программистом. Например, исследовав незнакомый предмет, робот может прийти к выводу, что это колесо от автомобиля, лишь в том случае, если будет располагать необходимыми признаками таких колес.

Отметим, что восприятие роботом объекта идет от деталей к целому. В то же время человек обычно воспринимает объект в целом, а затем уже переходит к деталям. При этом ему не надо проводить дальнейшие исследования, чтобы убедиться, например, в том, что дом имеет не только фасад, но также стены, которые он не видит с данной позиции, двери, внутренние помещения и т. п. Все это уже следует из понятия «дом». Когда заранее известно, с какими объектами будет иметь дело робот, это обстоятельство не вызывает трудностей при программировании его движений. Например, робот в технологической линии на заводе выполняет операции с объектами, номенклатура которых известна, хотя их ориентация, или положение в пространстве, могут меняться в широких пределах. Значительно сложнее обстоит дело, когда робот выполняет операции автономно в незнакомой среде, например при исследовании поверхности чужой планеты. В этом случае про-

граммирование связано с использованием таких трудно формализуемых понятий, как «рельеф местности», «лежащий камень» и т. п.

Следует также различать проблемы распознавания объектов внешнего мира и распознавания символов — рукописного текста или устной речи. Это различие было очевидно уже Декарту, который писал, что, если бы даже были созданы говорящие машины, «они никогда не могли бы пользоваться ни словами, ни другими знаками, составляя их так, как это делаем мы, чтоб передавать другим наши мысли» [13, с. 301]. Правда, Декарт объяснял это отсутствием у машин души.

Попробуем разобраться, в чем состоит проблема распознавания роботом указаний, подаваемых голосом. Трудности здесь прежде всего в том, что одни и те же звуки произносятся по-разному разными людьми: различны тембр голоса и дикция. Тем не менее эту трудность, по-видимому, можно преодолеть, так как машина в состоянии распознавать достаточно широкий звуковой образ. Однако, как и при распознавании текста, здесь остается принципиальная трудность, связанная с психологией восприятия речи человеком. Человек воспринимает отдельные звуки речи (фонемы) в зависимости от контекста — от смысла всей фразы. Поэтому мы можем понять смысл фразы и в том случае, если речь нечетка, а отдельные звуки произносятся неправильно. Точно так же мы слышим мелодию, а не отдельные ноты. Это восприятие в целом опирается на осмысливание того, что человек слышит. Здесь используется его предыдущий опыт, элементы подсознательного, ассоциативная память и другие аспекты психологии мышления, которые относятся к числу неформализуемых.

Восприятие сложной ситуации также осуществляется человеком в целом с учетом характерных иногда малозаметных для постороннего признаков. От непосредственно воспринимаемых признаков мы переходим к скрытым свойствам объекта или ситуации в целом. Например, летчик может уловить неисправность в двигателе по незначительному изменению его звука и воспринять складывающуюся ситуацию как опасную. Этот аспект восприятия тесно связан с возможностью для человека предвидения дальнейших событий. Предвидение может играть решающую роль при работе в неопределенных или экстремальных условиях. Оно остается привилегией человека по тем же причинам, о которых говорилось выше.

## Приобретение навыков

В своей практической деятельности человек использует навыки типичных движений. Некоторые из них возникают естественным путем, например походка, поддержание равновесия тела. Другие требуют определенных усилий со стороны человека — умение танцевать, кататься на коньках и т. п. Общим их признаком является то, что они представляют собой телесные, мускульные композиции движений (так называемые синергии). В процессе приобретения навыка используются данные рецепторов о положении тела и его конечностей в пространстве, о развиваемых усилиях и используемых группах мышц и т. д. Этот процесс содержит и случайный элемент; из множества случайных вариантов выполнения движения человек в конце концов выбирает наилучший. Выбирает не путем умозрительного анализа, а в результате использования сигналов, поступающих с рецепторов, большая часть которых им не осознается.

Отсюда следует принципиальная возможность обучения робота двигательным навыкам. Например, выбрав в качестве критерия затраты энергии, можно научить робот переносить тяжелый предмет по траекториям, требующим наименьших затрат энергии. Иногда синергии целесообразно предварительно промоделировать на ЭВМ и в дальнейшем использовать как возможные стереотипы движений реального робота. Так, при разработке шагающих аппаратов вначале определяют типы походки, обеспечивающие сохранение равновесия робота при движении. Другим примером навыка является синергия поддержания равновесия экзоскелетоном, применяемым для передвижения больных, лишенных подвижности ног [56]. Роботы, использующие двигательные навыки, оснащаются датчиками относительного положения сегментов конечностей, датчиками моментов в шарнирах и сил, действующих на стопу или кисть руки. Шагающий робот снабжается также гироскопическим датчиком для определения ориентации корпуса в пространстве [53, 54, 56]. Использование двигательных навыков позволяет обойтись без сложных расчетов в реальном масштабе времени, выполняемых управляющей ЭВМ робота. Необходимость в таких расчетах иногда рассматривалась как принципиальная трудность при реализации сложных движений роботом.

При использовании роботов с двигательными навыками глубина аналогии с соответствующими навыками чело-

века определяется только совершенством технологии обучения. Поскольку процесс образования двигательных навыков в меньшей мере затрагивает сознание, то моделирование его у роботов более свободно от ограничений искусственного интеллекта, чем обучение в более широком смысле.

Нередко обсуждается и другая аналогия — между действиями робота, обученного выполнять определенные операции по определенным командам, и условным рефлексом живого существа. На относительность такой аналогии указывал еще Н. Винер, который писал, что для животных (и человека) «обратная связь может быть такой же простой как при обычном рефлексе. Но может быть обратной связью и высшего порядка, при которой прошлый опыт используется для регулирования не только специальных движений, но и целой линии поведения. Такая обратная связь, определяющая поведение, может проявляться... в виде того, что нам известно в одном аспекте как условный рефлекс, а в другом — как обучение».

П. К. Анохин также подчеркивал сомнительность положения, по которому общность функциональных проявлений способностей должна соответствовать общности их частных механизмов. В работе «Физиология и кибернетика» [55] он отмечает те особенности условного рефлекса, моделирование которых не может быть выполнено из-за принципиальных различий между рефлексом живого существа и его машинной аналогией. Во-первых, условный рефлекс развивается только при определенных сочетаниях пусковой и обстановочной афферентации, о чем уже говорилось выше. Вопрос о том, в какой обстановке рефлекс проявляется на данный раздражитель, а в какой нет, определяется предыдущим опытом живого существа, его специфическими особенностями. Добавим к этому многообразие и сложность возможных обстановочных афферентаций, возникающих в реальной рабочей среде робота. Во-вторых, представление, что рефлекс запускается одним изолированным пусковым раздражителем (подобно движению робота, которое запускается определенной командой оператора), не соответствует действительности: в ответ на раздражитель происходит процесс синтеза всех сигналов, поступающих от рецепторов внешнего и внутреннего мира (афферентный синтез). Этот процесс отсутствует у роботов, даже наделенных разветвленной системой рецепторов.

После завершения афферентного синтеза складывается

особый афферентный аппарат, названный Анохиным акцептором действия. Момент формирования акцептора действия соответствует намерению к действию. В процессе ответного действия этот аппарат обеспечивает сопоставление афферентных раздражителей, возникающих в процессе действия, с результатами афферентного синтеза. Иначе говоря, замысел действия сопоставляется с его результатами. Действие заканчивается, если возникающее несоответствие достаточно мало.

Таким образом, раньше, чем осуществится действие, в головном мозгу всегда формируется аппарат оценки этого предстоящего действия.

Существование акцептора действия является принципиальным отличием условного рефлекса человека и животного от машинного аналога. Воспроизведение акцептора действия с помощью машины весьма проблематично, так как он складывается с учетом предыдущего опыта и во взаимосвязи с конкретной ситуацией. Значит, при создании навыков у роботов используются совершенно иные процессы, чем это происходит у живых существ, а сходство обнаруживается только во внешнем результате.

То же можно сказать и о навыках гностического характера— ощупывании незнакомой поверхности, поиске предмета в рабочей зоне, об осмотре роботом с помощью телевизионной камеры объектов, представляющих для него интерес, и т. п.

Аналогия становится еще более эфемерной, когда речь заходит о навыках знаковой деятельности, прежде всего речи.

Как известно, речь человека возникла в процессе практической деятельности, в процессе восприятия предметов внешнего мира и взаимодействия с ними. Человек обладает второй сигнальной системой (по определению И. П. Павлова) — системой вербального мышления, помимо первой сигнальной системы — условно-рефлекторной. Вербальное мышление не обязательно использует речь, например, глухонемые используют язык символических жестов. Принципиальным моментом здесь является использование в языке обобщений и понятий, и, таким образом, опять возникают проблемы возможностей искусственного интеллекта. Роботы, по-видимому, могут иметь аналог только первой сигнальной системы. Такое утверждение отнюдь не исключает диалога с роботом, в том числе и на естественном языке — это дело техники. Робот может информировать человека о состоянии среды, о признаках

наблюдаемых предметов, о своем собственном состоянии и т. д., но лишь в соответствии со словарем терминов, введенных в его память.

Упомянутое отличие между роботом и человеком явилось поводом для постановки Д. А. Поспеловым вопроса: «Можно ли ограничиться только вербальным уровнем при создании искусственного интеллекта?» [34, с. 84]. Автор дает отрицательный ответ, признавая, однако, что пока решение такой проблемы невозможно. Ответ следует искать за пределами использования ЭВМ, обращаясь к устройствам другой природы, построенным специально для решения задач искусственного интеллекта. Таким устройством может, например, оказаться перцептрон. Вопрос этот имеет основание, выходящее за пределы обсуждаемого аспекта. По мнению Поспелова, «необходимо моделировать не процессы игры в шахматы, сочинения музыки и т. д., а глобальные психологические механизмы, позволяющие строить эти процессы». В частности, возникает проблема «создания для роботов логики восприятия и познания внешнего мира». Намеченные проблемы показывают глубокую перспективу развития искусственного интеллекта роботов в сближении его с интеллектом человека.

### Адаптация робота и саморегулирование организма

Свойство саморегуляции организма дает широкие возможности для аналогий между человеком и роботом. И. П. Павлов писал: «...организм есть в высшей степени саморегулирующаяся система, сама себя поддерживающая, восстанавливающая, поправляющая и даже совершенствующая» [57]. Саморегуляция в организме, как и в технических системах, основана на принципе обратной связи. Однако формы ее реализации в организме значительно сложнее. Обратная связь может быть такой же простой, как при обычном рефлексе, но может быть и обратной связью высшего порядка, при которой прошлый опыт используется для регулирования линии поведения.

Все основные константы организма (содержание сахара в крови, осмотического давления, температура тела и т. д.) поддерживаются на основе саморегулирования, которое осуществляется по принципу обратной связи. Например, при интенсивной мышечной работе снижается содержание сахара в крови. Тогда возрастает количество адреналина, выделяемого в кровь; попадая в печень, адреналин приводит к распаду гликогена до стадии глюкозы,

которая поступает в кровь и восстанавливает концентрацию сахара. Эта система регулирования управляется клетками надпочечников и головного мозга (гипоталамуса и гипофиза) и обеспечивает весьма высокую точность регулирования [55].

Аналогия с техническими системами регулирования (хотя последние несоизмеримо проще) здесь очевидна. Возможно, поэтому одна из первых работ в области робототехники, претендующая на моделирование особенностей живого организма, представляла собой гомеостат (Эшби). Гомеостат был способен поддерживать постоянное состояние (заданное расположение частей) или постоянную температуру, мог даже оказывать сопротивление факторам, препятствующим гомеостазису, и накапливать опыт.

Сегодня свойство адаптации широко используется в робототехнике. Например, существуют системы управления робота с адаптацией к весу груза. При изменении веса (что регистрируется силомоментными датчиками) параметры системы изменяются таким образом, что характер динамических процессов управления остается без изменения. При этом может использоваться эталонная математическая модель динамики манипулятора и математическая модель фактического движения, которая строится методами идентификации в процессе работы системы. Отклонения параметров фактической модели от эталонной и приводят в действие систему самонастройки параметров. Пользуясь языком аналогий, можно сказать, что робот как бы формирует модель своего внутреннего состояния и использует ее для саморегуляции.

Принцип подобной саморегуляции, по-видимому, получит дальнейшее развитие, так как во многих случаях динамика робота может существенно изменяться в зависимости от условий работы (например, под водой на разных глубинах и при наличии течений).

Насколько глубоки аналогии между человеком и роботом в данном случае? Отметим, что для роботов, по крайне мере существующих, правильнее говорить об адаптации, а не о саморегуляции, поскольку речь идет о приспособлении к внешним условиям. Однако эта грань весьма условна, поскольку не всегда можно определить, что для робота является внутренним, а что внешним.

Более важное отличие заключается в том, что в организме процессы саморегуляции могут приводить в действие высшие приспособительные механизмы — кору головного мозга. Например, при повышении осмотического

давления крови специальные нервные клетки гипоталамуса распространяют возбуждение по определенным системам головного мозга [55, с. 293]. При этом у человека возникает чувство жажды, которое он удовлетворяет уже сознательно, и иногда для этого может понадобиться довольно сложная деятельность.

Попытки имитировать такую деятельность предпринимались. Например, уже упоминавшийся нами робот, созданный в университете Дж. Гопкинса, при снижении напряжения аккумуляторных батарей подъезжал к розетке и включался в сеть для подзарядки. Однако сходство с человеком здесь лишь в результатах деятельности (причем в узких рамках). Если розетка находится вне сферы действия датчиков такого робота, он ее не найдет. В то же время человек, испытывающий жажду, будет делать различные предположения, где найти воду, и предпринимать разнообразные действия, чтобы эти предположения проверить.

Таким образом, процессы саморегуляции, включающие на заключительной стадии сознательную деятельность, пока не могут быть воспроизведены роботами. Однако те процессы саморегуляции организма, которые происходят подсознательно, можно воспроизвести, причем углубление знания физиологии этих процессов у человека позволит все лучше воспроизводить их у роботов. Как отмечал П. К. Анохин, «работа саморегулирующихся механизмов ... достигается как в машинах, так и в организме на основе одной и той же функциональной архитектуры, т. е. на основе замкнутых систем и обратной афферентации. Это обстоятельство и является тем отправным пунктом, на основе которого физиология и кибернетика могут устанавливать дальнейший контакт и творческое содружество в работе» [55, с. 295].

## Разумное поведение

Рассматривая отличие искусственного интеллекта от интеллекта человека, мы всюду подчеркивали роль опыта, практической, предметной деятельности в мышлении человека. ЭВМ таким предметным опытом не может обладать, но роботу, снабженному техническими средствами очувствления, он доступен. Поэтому возникает вопрос: в какой мере, используя предыдущий опыт, робот может осуществлять разумное поведение?

Прежде всего отметим еще раз, что существует принци-

пиальное различие в мышлении человека и решении задач роботом, поскольку человек оперирует с понятиями, носящими обобщенный характер, что, по-видимому, недоступно машине. Вместе с тем роботу доступен определенный, достаточно узкий круг формальных понятий, которые выражаются словарем признаков. Можно составить также словарь отношений, в которых могут находиться эти понятия. В процессе практической деятельности с предметами внешнего мира робот может расширять как словарь понятий, так и словарь отношений. Такое расширение будет основано именно на восприятии реальных, физических свойств объектов роботом.

Наиболее простыми для робота являются понятия, отражающие геометрическую форму предметов, так как они однозначны. Робот может отличить куб от сферы независимо от их ориентации, размеров, цвета, твердости и т. п. Вполне возможно предположить, что, имея первоначальный словарь основных геометрических объектов, робот может сформировать понятие объекта, составленного из нескольких основных, если такой объект встречается достаточно часто и, само собой разумеется, если возможность образования новых понятий предусмотрена программой. То же касается и отношений робота с предметами внешнего мира и отношений между этими предметами. В результате создается как бы внутренний машинный мир робота.

Метод организации такого внутреннего мира был предложен М. Минским в работе «Фреймы для представления знаний» [58]. Фрейм — это структура данных, образующая понятие или ситуацию. Связанные между собой определенными отношениями, фреймы образуют семантическую сеть, которая и является машинной картиной мира. Родственный метод развивается в СССР А. Ю. Шрейдером [59].

Иной метод — ситуационного управления, предназначенный для решения той же проблемы, был рассмотрен Д. А. Поспеловым, Ю. И. Клыковым, В. Н. Пушкиным [60—62]. Здесь в образовании внутреннего мира робота главную роль играют отношения между понятиями.

Все эти способы организации информации предназначены не для хранения ее в памяти машины, а для планирования решений. Помимо статических фреймов, характеризующих возможные ситуации, вводятся динамические фреймы, или планы, которые задают последовательность действий для достижения поставленных целей [63]. При ситуационном управлении полученные отношения между понятиями позволяют строить алгоритмы решения задач.

Здесь можно провести известную аналогию. В процессе образного мышления человек включает образ предмета во все новые возможные для него связи и отношения, чтобы выбрать правильное решение (например, что делать с данным предметом). При этом он использует, во-первых, образ предмета, обогащенный до понятия, во-вторых, свой опыт предметной деятельности. Иногда ему помогают принять правильное решение и развитые двигательные навыки.

В узких рамках формальных понятий, опыта робота и его двигательных навыков вполне осуществима процедура поиска решения путем включения формального понятия в новые отношения, в том числе и не заданные заранее программистом, а приобретенные опытным путем. В известных пределах поддается формализации и процесс принятия решения в условиях, когда отсутствует четкое описание ситуации. В этом случае может быть использована уже упоминавшаяся теория нечетких множеств, получившая распространение и на область принятия решений [64]. Следовательно, возможности робота позволяют существенно продвинуться вперед не только в области формирования двигательных навыков и восприятия внешнего мира, но и в области моделирования более глубоких процессов мышления, в том числе процессов принятия решений.

Обратим внимание на принципиальное значение, которое имеет соединение способов представления знаний с активностью робота. Робот приобретает при этом новое качество — инструмента познавательной деятельности человека. По выражению В. М. Глушкова, «искусственный интеллект в широком смысле слова оказывается... способным к самостоятельному дальнейшему исследованию, активному эксперименту, открытию новых законов природы и т. п.» [45, с. 180]. Тем не менее поведение робота, самостоятельно функционирующего во внешнем мире, накапливающего знания, принимающего решения, не может быть названо разумным вследствие тех различий между искусственным и естественным интеллектом, о которых говорилось выше.

Упомянем еще раз о роли потребностей. Робот, принимая решение, может выбрать себе одну из подзадач более общей задачи. Но эта последняя должна быть определена заранее, так как робот, в отличие от человека, лишен потребностей — физиологических, интеллектуальных, социально-нравственных, которые служат регуляторами всего поведения человека.

## Глава III

## ЧЕЛОВЕК И РОБОТ

Роботы как инструмент деятельности человека возникли на определенной ступени эволюции орудий труда, сопровождавшей историю человеческого общества. Начиная с использования простейших орудий, данных самой природой, человек непрерывно совершенствовал средства воздействия на природу, а совершенствуя орудия своей деятельности, человек совершенствуется сам, и этот процесс неограничен.

Для роботов как нельзя лучше подходит общее определение машин, данное К. Марксом: «...продукты человеческого труда, природный материал, превращенный в органы человеческой воли... Все это — *созданные человеческой рукой органы человеческого мозга*, овеществленная сила знания» [65, с. 215]. Любая машина позволяет усовершенствовать, усилить те или иные способности человека — физические или умственные, расширить его функциональные возможности. В этом заключается цель ее создания. Но машина никогда не сможет полностью заменить человека (если речь не идет о выполнении механической однообразной работы). Это справедливо и для роботов с искусственным интеллектом, о чем мы говорили в предыдущей главе.

А. И. Берг замечает: «Машины не мыслят — и вряд ли будут мыслить как человек, как разумное существо, живущее в обществе, имеющее интеллектуальные потребности и пользующееся естественным языком для обмена мыслями с другими разумными существами. Но несомненно, что человек, работающий в «содружестве» с машиной, мыслит лучше и иначе, чем человек, вынужденный ограничиваться лишь примитивными орудиями механизации своего умственного труда» [66].

Рассмотрим некоторые способы взаимодействия человека и робота как орудия труда. Этот вопрос имеет два аспекта — взаимодействие человека и машины в конкретной робототехнической системе и взаимодействие людей

и роботов в рамках социальной структуры. Анализ этих аспектов позволит определить некоторые перспективы развития робототехники.

## ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Краткий обзор проблем, связанных с автоматизацией интеллектуальных задач человеческой деятельности, показывает, что на современном этапе развития техники многие функции человека, существенно важные для его практической деятельности, не могут быть формализованы и переданы машине. Поэтому одним из основных направлений современной робототехники становится создание человеко-машинных систем. В этом направлении есть две существенно различные проблемы.

Первая проблема — разработка автоматических роботов, которые управляются человеком в супервизорном или диалоговом режимах. Обмен информацией носит дискретный (правильнее сказать, эпизодический) характер и осуществляется с помощью символов принятого формального языка. Это группа дистанционно управляемых роботов.

Вторая проблема — разработка копирующих и полуавтоматических систем, в которых человек управляет движением робота в непрерывном режиме, воспринимая всю необходимую для этого информацию, в том числе сенсорную. Команды передаются путем движений конечностей оператора. Это дистанционно управляемые манипуляторы. Обе группы составляют класс эргатических роботов.

### Человек в супервизорных и диалоговых системах

Создание таких систем предполагает участие человека при решении именно тех проблем, которые сегодня остаются за рамками методов искусственного интеллекта.

Рассмотрим вначале супервизорное управление. Центральной проблемой здесь является разделение функций между человеком и машиной. В наиболее простом случае оператор берет на себя всю «интеллектуальную» сторону деятельности робота. Он распознает ситуацию на основании сигналов визуальной информации и показаний других датчиков, ставит цель, следит за выполнением операции и оценивает успешность достижения цели. При этом робот может выбирать подцели, планировать движение своих

«конечностей» и своего «туловища» с учетом показаний датчиков, однако все эти задачи решаются в рамках заданных формальных программ. Робот не проявляет активности, он следует командам своего хозяина.

Несмотря на то что при решении отдельных подзадач могут использоваться методы, которые относятся к методам искусственного интеллекта, а сигналы обратной связи, воспринимаемые оператором, могут быть выражены в символах формального языка, здесь нет диалога машины и человека; их участие в работе далеко от «равноправия». При возникновении сложных, непредвиденных ситуаций оператор может встретиться с необходимостью перехода от более общих к весьма специальным командам, вплоть до команд движения в отдельных суставах конечностей робота. Поэтому применение супервизорных систем такого типа требует использования определенного перечня работ и операций. Если же предположить, что команды оператора имеют более общий характер, то это потребует соответствующего интеллектуального уровня робота, и здесь мы немедленно сталкиваемся со всеми ограничениями искусственного интеллекта; как только возникают сложные ситуации, робот должен «понять» ситуацию в целом, принять правильное решение с учетом его будущих последствий и т. п. Поскольку робот может оказаться не в состоянии этого сделать, решением проблемы является обращение к человеку-оператору.

Последний путь решения задачи взаимодействия человека и машины — путь диалога — является чрезвычайно перспективным не только в робототехнике, но и в других сферах автоматизации умственного труда [67]. Использование диалога предполагает достаточно высокую интеллектуальную организацию робота. Чтобы понимать оператора, он должен обладать системой знаний об объектах внешнего мира и отношениях между ними, т. е. обладать своей внутренней («машинной») моделью внешнего мира. Ограничения этого мира одновременно служат и ограничениями возможностей роботов с диалоговым режимом, так как они определяют возможный круг тем для разговора с роботом.

Диалог между человеком и роботом предполагает разделение функций между ними. Человек принимает участие в решении тех задач интеллектуального уровня, которые недоступны роботу, таких, как осмысливание ситуации, принятие решений в сложных условиях с учетом своего (человеческого) опыта и эмоционального со-

стояния (чувство опасности, тревоги и т. п.). Машина занимается разработкой плана решения двигательной задачи (если и здесь не требуется обращения за помощью) и деталей решения вплоть до движения конечностей в каждом шарнире. Таким образом, разделение обязанностей определяется интеллектуальными возможностями роботов на сегодняшний день. По мере их развития оператор будет привлекаться к диалогу лишь в той мере, в какой понадобится ему использовать свои человеческие, творческие способности.

Однако этим не ограничиваются перспективы развития диалоговых систем. Машина может не только обращаться за разъяснениями, но и помогать человеку в решении сложных задач. В тех случаях, когда человек должен переходить от образного мышления к формально-логическому, машина может использоваться как усилитель умственных способностей. Исследования в этом направлении имеют особо важное значение, поскольку они оказывают непосредственное влияние на интеллектуальные возможности человека — в значительно более широком смысле, чем автоматизация расчетов. В подобных системах предусматривается возможность обогащения знаний робота, а также усовершенствования логики вычислительной системы в процессе общения с человеком [68].

Понятие диалога между оператором и роботом может вызвать представление о том, что мы имеем дело с равноправными партнерами при решении задач управления. Такое представление является ошибочным; ЭВМ — это лишь инструмент мышления. Можно согласиться с Г. Л. Смоляном, который пишет: «В известном смысле компьютер и его информационное и математическое обеспечение представляют собой тактический инструмент решения задачи, человек же всегда остается носителем стратегического мышления» [69, с. 45]. Человек ставит цель, формирует задачу, выдвигает гипотезы. Машина решает задачу управления, проверяет предположения человека, осуществляет управление роботом под контролем человека. При этом человек не только освобождается от решения рутинных задач, но и приобретает возможность решать такие задачи, которые были бы ему недоступны без использования ЭВМ.

Машина (робот) создает предпосылки для проявления и развития творческих сил человека. Известный советский психолог А. Н. Леонтьев писал: «...чем более объективируется и автоматизируется в машинных процессах дея-

тельность человека, тем более повышается ее психический уровень, тем более человек может проявить в ней свою субъективность, свои творческие силы и способности» [70, с. 9].

Итак, диалоговые системы являются наиболее естественным для современного состояния техники сочетанием человека и машины. Поскольку речь идет об интеллектуальных задачах, этот вывод справедлив в первую очередь для системы ЭВМ—человек. Он справедлив и для робота, управляемого ЭВМ. Однако здесь вновь надо учесть специфику робота как средства активного воздействия человека на окружающий мир.

Если говорить о роботах, предназначенных для передвижения в незнакомой среде (особенно путем «ходьбы»), а также для выполнения различных механических операций с помощью инструмента и «вручную», то применение супервизорных и диалоговых способов управления часто наталкивается на известные трудности. Они связаны с тем, что при построении некоторых видов движения человеком используются те же неформализуемые аспекты, что и при решении задач искусственного интеллекта.

Прежде всего в каждый момент человек располагает комплексом ощущений, составляющим его восприятие себя и выполняемой им работы. Это восприятие «в целом» не является простым объединением данных, поступающих от рецепторов. Более того, данные рецепторов могут восприниматься по-разному в зависимости от ситуации. Выполняя движение, человек использует не только двигательный навык, но и учитывает ситуацию, свое положение в ней, особенности объекта работы. При этом учитывается весь предыдущий опыт личности. Такая гибкость недоступна формализации. Можно, например, создать у робота навык (синергию) поддержания равновесия при ходьбе, но он не поможет сохранить равновесие, если поверхность вдруг станет очень скользкой. Здесь нужен навык уже совсем иного рода. Можно запрограммировать отвинчивание крышки люка, но не предусмотреть, как действовать, если крышка туго поддается, и т. п. Поэтому существуют определенные ограничения в автоматизации не только высших, интеллектуальных, но и низших, двигательных функций человека, неразрывно связанных с первыми.

Следовательно, решение проблемы действий робота в непредвиденных ситуациях состоит в том, чтобы робот (любого интеллектуального уровня) имел наряду с автоматическим еще и дистанционное управление непосредст-

венно со стороны человека-оператора в копирующем или полуавтоматическом режиме. Роботы, использующие только такой режим, называются дистанционно управляемыми манипуляторами.

### Человек — оператор дистанционно управляемых манипуляторов

Здесь возникает сочетание человека и машины совсем иного рода, чем при диалоговом и супервизорном управлении.

Во-первых, при управлении максимально используются сенсорные рецепторы человека. Помимо визуальной информации, он может получать информацию о положении конечностей робота в пространстве с помощью задающего устройства копирующего типа; о силах и моментах, действующих на механические конечности извне,— через системы отображения силовой информации; существуют также системы отображения тактильной информации; используются и вестибулярные рецепторы человека.

Во-вторых, человек непосредственно участвует в действиях робота, управляя его движениями. В наиболее простом случае — при управлении антропоморфным манипулятором копирующего типа — движения задающего механизма, связанного с рукой оператора, буквально воспроизводятся «рукой» робота, имеющей подобную кинематическую схему. В более сложном случае полуавтоматической системы схват манипулятора может воспроизводить движения управляющей рукоятки, связанной с кистью руки оператора при произвольной конструкции «руки» робота. Возможно и преобразование характера движения, например, нажатие на рукоятку с определенной силой может интерпретироваться роботом как движение с постоянной скоростью или с постоянным ускорением. Общим для всех способов является управление «в коде движения», т. е. с помощью сигналов, возникающих при движении конечности оператора. При использовании «изометрических» органов управления движения задаются оператором посредством развития рукой сил и моментов на неподвижной рукоятке. Разрабатываются и такие системы, в которых сигналы управления снимаются непосредственно с конечности человека в виде биотоков. Таковы системы, использующиеся при протезировании.

В эргатических роботах копирующего и полуавтоматического типа не возникает проблемы разделения функций

между человеком и машиной, поскольку это предопределено конструкцией и назначением робота. Например, при несоответствии конструкции манипулятора человеческой руке вычислительное устройство рассчитывает сигналы управления приводами манипулятора, чтобы обеспечить нужное движение его схвата. При использовании рукояток полуавтоматического управления вычислительное устройство формирует сигналы управления приводами, обеспечивающие заданное положение схвата (или скорость, или развиваемое усилие). Машина решает и необходимые задачи преобразования сигналов датчиков робота и датчиков состояния внешней среды в сигналы, доступные рецепторам оператора; в результате такого преобразования формируется информационная модель для оператора.

В решении перечисленных задач нет принципиальных проблем, а есть лишь технические трудности. Проблема здесь в другом: независимо от того, находится ли человек внутри робота или управляет им на расстоянии, он должен «вжиться» в робот, ощутить его как часть самого себя. Такой процесс «вживания» вообще характерен для квалифицированной работы человека с инструментом (и отмечается многими психологами), с ним хорошо знакомы летчики, автомобилисты. Однако при управлении роботом задачи существенно усложняются и «вживание» должно быть более полным.

Трудности адаптации оператора к роботу обусловлены не только тем, что возможности датчиков ограничены и сенсорные сигналы искажены, а некоторые из них отсутствуют вовсе (например, тактильные). Изменяются сами возможности оператора по восприятию сигналов. Например, могут быть усилены слабые акустические сигналы или их спектр преобразован таким образом, чтобы они стали доступны рецепторам человека; с помощью соответствующих систем можно видеть в темноте, ощущать незначительные колебания температуры и т. п. Чтобы человек в таких условиях не потерял способность правильно ориентироваться в окружающей обстановке и координировать движения своего тела, должна произойти определенная адаптация, перестройка его навыков восприятия и создание новых навыков. Например, воспринимая информацию с помощью датчиков, имеющих худшие возможности, чем его собственные рецепторы, оператор будет «доопределять» недостающую информацию на основе своего опыта или данных других датчиков. Подобным образом слепой «доопределяет» недостающую зрительную информа-

цию путем ощупывания, используя специально развитый навык.

Не менее существенно изменение характера движений и двигательных возможностей человека. Так, экзоскелетон позволяет значительно увеличить силу человека, но, чтобы при этом обеспечить должную координацию движений, необходима перестройка двигательных навыков и даже выработка новых. Например, существует система управления подвижным роботом, в которой перемещения корпуса робота управляются поворотами головы оператора. При управлении движениями рук робота с помощью изометрических рукояток рука оператора практически неподвижна, а управление осуществляется путем приложения к рукоятке сил и моментов со стороны оператора.

Возможности оператора приспосабливаться к необычным условиям работы и оперировать со сложным инструментом достаточно велики, но не безграничны. Поэтому возникает вопрос: в какой мере возможно «вживание» человека в робот? Решение этого вопроса ограничивается не столько техническими возможностями датчиков, органов управления, манипуляторов и т. п., сколько психологическими возможностями человека. Совершенствуя технику, мы лишь улучшаем эффект присутствия, облегчаем возможность человека почувствовать себя одним целым с роботом. Но возможности человека в таком качестве пока мало изучены.

Если в супервизорных и диалоговых системах слабым звеном системы человек—робот является робот, которому человек может помочь в решении интеллектуальных задач, то в копирующих и полуавтоматических системах слабым звеном становится человек. В этом случае ЭВМ не является доминирующим звеном технической части эргатического робота, как для интеллектных роботов. Основную роль играет согласованность технических и естественных сенсоров, искусственных и естественных конечностей. Эта согласованность и означает возможность оператора адаптироваться к новому «телу». Поэтому создание эргатических роботов требует не только совершенствования технической части системы, но и решения инженерно-психологических проблем.

Несмотря на очевидное различие проблем, возникающих в связи с созданием интеллектных и эргатических роботов, между ними имеется диалектическое единство. Проявляется оно в том, что обе ветви робототехники раз-

виваются параллельно, поддерживая друг друга и питаясь из одних и тех же источников.

Первые манипуляторы были антропоморфными и копирующими — они копировали кинематическую схему и движения рук человека. Первые программы в области искусственного интеллекта были эвристические — они копировали приемы мыслительной деятельности человека. На определенном этапе развития интеллектный робот получил рецепторы и конечности — в основном те же, которые применялись при разработке роботов, управляемых человеком. Любые усовершенствования в области нижних уровней управления, используемых для эргатических роботов, могут использоваться для интеллектных роботов. Вместе с тем некоторые аспекты искусственного интеллекта, базирующиеся на изучении человека, могут применяться и при создании эргатических роботов. Мы уже говорили о восприятии обстановки и формировании двигательных навыков. Остановимся теперь на обучении роботов.

Интеллектные роботы, допускающие эргатический режим работы, могут иметь режим обучения, отличный от традиционного, «внешнего» обучения; для таких роботов система знаний формируется отчасти программным путем, отчасти в процессе диалога человека с машиной. Подобное обучение касается поведения в окружающей обстановке, работы, ходьбы и других разумных действий. Оно состоит в том, что необходимые движения выполняет сам оператор с использованием сенсорной и моторной систем робота. Полученная при этом и обработанная роботом информация становится базой для новых двигательных навыков. Только в простейшем случае программных роботов такой навык сводится просто к запоминанию и повторению определенных действий. В общем случае действия зависят от сенсорной картины окружающего мира, своего состояния, целей, опыта и т. д. Поэтому «внутреннее» обучение предполагает сложную организацию понятий и отношений в памяти робота, например, с помощью метода фреймов.

Таким образом, достижения в области искусственного интеллекта непосредственно могут быть использованы при обучении эргатических роботов. После такого обучения робот может приобрести определенную автономность при решении выбранного круга двигательных задач, так что оператору придется брать на себя управление им только в сложных ситуациях.

Интеллектные роботы, имеющие развитую сенсорику, обладающие способностью работать в эргатическом режиме

и подвергаться «внутреннему» обучению, наиболее перспективны для использования в экстремальных средах. С одной стороны, они обеспечивают возможность работы в самых сложных, неопределенных ситуациях с участием оператора, с другой — способны к обучению и в рамках своих интеллектных возможностей автоматизируют работу человека при выполнении простых операций.

Можно представить и другое направление в развитии эргатических роботов, основанное на преодолении тех ограничений, какими являются возможности самого человека — не интеллектуальные, а физические. Характеристики рецепторов человека уже сейчас сильно уступают соответствующим характеристикам физических приборов. При преобразовании информации в сигналы, воспринимаемые рецепторами человека, происходит потеря информации. Физическая сила конечностей человека во много раз меньше физической силы механических рук и ног. Правда, органы человека превосходят свои механические аналоги по гибкости, чувствительности, однако и эти качества могут быть превзойдены в процессе совершенствования техники и технологии.

## О методологии человеко-машинных систем

В методологических вопросах, связанных с созданием человеко-машинных робототехнических систем, основным является вопрос о месте и роли человека-оператора.

Существуют человеко-машинные системы, в которых оператор выполняет совершенно определенную операцию, например операцию слежения. У него вырабатываются устойчивые навыки слежения, определенные способы их перестройки в зависимости от входного сигнала или алгоритма управления. Появляется возможность математического описания деятельности оператора [71]. Математические модели позволяют вести проектирование человеко-машинных систем с помощью известных методов теории автоматического управления, поскольку человек здесь описывается как звено системы управления. При управлении манипулятором возможности составления математических моделей деятельности оператора более ограничены из-за многообразия этой деятельности, зависимости ее от динамики многозвенного исполнительного органа, характера выполняемой операции, способа управления, способа отображения информации и т. д. Здесь человек не может

рассматриваться как одно из звеньев системы управления (что было характерно на раннем этапе развития инженерной психологии).

Как указывает Б. Ф. Ломов, «в процессе развития инженерной психологии возникает необходимость разработки иного принципиального подхода к анализу систем „человек — машина". Задача исследования человека как оператора (и только как оператора) превращается в задачу исследования оператора как человека. Это определяет антропоцентрический подход, т. е. подход „от человека к машине". Отношения „человек и машина" в системах управления рассматриваются как отношение „субъект труда и орудие труда"» [72].

При таком подходе в основу проектирования человеко-машинных систем необходимо положить проектирование деятельности оператора. Конечно, проектирование деятельности не может быть оторвано от проектирования средств этой деятельности (в частности, для робота такими средствами служат манипуляторы, системы приводов, рецепторы и т. д.). Проектирование деятельности и средств деятельности — это совместный многоэтапный процесс, включающий согласование требований на различных этапах проектирования. Однако центральным моментом становится именно деятельность человека-оператора в целом и рассмотрение всей системы психических функций, процессов и состояний «в контексте» этой деятельности [72].

Снимается ли при таком подходе необходимость математического описания деятельности? Конечно, нет. Чтобы спроектировать техническую часть системы, удовлетворяющей тем требованиям, которые ставит управляющая деятельность человека, необходимо получить количественные оценки последней. Использование математических моделей отдельных фрагментов деятельности человека отнюдь не следует считать проявлением бихевиоризма, сводящего деятельность человека к преобразованию стимул — реакция. Сами по себе математические модели не могут служить носителями того или иного философско-методологического подхода. Но дело в том, какое значение придается этим моделям, какие выводы делаются из их применения. Если совокупность математических моделей рассматривать как количественные характеристики определенных сторон деятельности человека-оператора (при определенных условиях и допущениях), то не возникнет противоречия с антропоцентрической концепцией. Отметим, что известные

пам математические модели характеризуют именно отдельные проявления деятельности оператора, а не деятельность в целом. Формализация деятельности представляет, по-видимому, еще не решенную задачу, обладающую существенными особенностями.

Если робот — это орудие труда, возникает еще один вопрос: можно ли говорить о распределении функций между человеком и машиной? Иногда на этот вопрос отвечают отрицательно. Так, Г. П. Щедровицкий считает, что такое распределение лишено смысла, поскольку оно соответствует разделению функций между землекопом и лопатой, бухгалтером и счетами [73].

По-видимому, существо вопроса здесь заключается в том, что понимается под разделением функций в системе. Бесспорно, человек и робот, независимо от способа управления, образуют единую человеко-машинную систему. Ее основное назначение — опосредование деятельности человека. Если речь идет о функциях этой системы в целом, т. е. о ее функциональной «деятельности», о задачах, которые такая система решает, то с приведенной выше точкой зрения можно согласиться; оператор ставит цель и достигает ее с помощью робота, выступающего в качестве инструмента, орудия труда. Однако если под функциями системы подразумевать конкретную реализацию того или иного способа управления, то возникает задача целесообразного разделения функций. Например, оператор может управлять движениями робота в копирующем режиме (без ЭВМ), в полуавтоматическом (ЭВМ рассчитывает управление приводами), в супервизорном (ЭВМ планирует траектории движения и управляет движениями робота). В этих трех случаях функции человека и машины выглядят по-разному, т. е. по-разному происходит разделение функций между оператором и роботом при единстве общей задачи системы в целом.

Решение задачи о том, как наилучшим образом сочетать возможности ЭВМ и человека, отнюдь не тривиально. Оно зависит, помимо возможностей «партнеров», от конкретной задачи, обстановки, степени неопределенности последней, эмоционального состояния оператора и т. д.

Термин «разделение функций» относится к различным способам взаимодействия машины и человека, которое может быть очень гибким. Например, машина способна анализировать действия человека и предупреждать его о неосторожных, неправильных действиях или даже блокировать такие действия. С другой стороны, необходимо

предусмотреть специальные меры для того, чтобы человек мог убедиться, что машина работает правильно. В противном случае возникает психологическая напряженность, вызванная недоверием к машине, особенно в тех случаях, когда «ценой» правильного результата является безопасность самого оператора. В подобных случаях оператор склонен брать управление на себя. Таким образом, разделение функций может (а в определенных условиях должно) изменяться в процессе работы.

Имея все это в виду, по-видимому, лучше говорить не о разделении функций, а об организации взаимодействия человека и машины в рамках единой целенаправленной эргатической системы.

Изучение закономерностей такого взаимодействия с учетом возможностей ЭВМ и роботов — это новое и чрезвычайно перспективное направление кибернетики, подготовленное ее предыдущим развитием и обусловленное потребностями научно-технического прогресса. От изучения общих законов управления в технике, обществе и живом существе кибернетика переходит к изучению управления в единой системе человек—техника—общество.

## СОЦИАЛЬНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РОБОТОВ

### Роботы и общественное производство

Закономерность развития производительных сил заключается в том, что непосредственные производственные функции человека заменяются машинами. «Чем выше развивается техника, тем более вытесняется ручной труд человека, заменяясь рядом все более и более сложных машин...» [74].

Промышленная революция XVIII—XIX вв. ознаменовала переход технологических функций руки человека, направляющей инструмент, к рабочей машине, а энергетические функции — к паровой машине. В процессе научно-технической революции XX в. произошла частичная передача машине также элементов умственного труда. Контрольные и управляющие функции все в большей мере поручаются машине. Рабочая и управляющая машина объединились в единый комплекс. Одной из реализаций такого комплекса — наиболее универсальной, самоконтролирующей и адаптивной — является промышленный робот.

Как и предсказывал К. Маркс, в современном производстве «труд выступает уже не столько как включенный в процесс производства, сколько как такой труд, при котором человек, наоборот, относится к самому процессу производства как его контролер и регулировщик... Вместо того, чтобы быть главным агентом производства, рабочий становится рядом с ним» [65, с. 213].

Такова эволюция общественного производства. Однако на ее современном этапе за рабочим еще сохраняются многие производственные функции.

Для нашего времени характерно наличие таких автоматических производственных агрегатов, на которых автоматизирована основная часть технологического процесса, а вспомогательные операции выполняются вручную. Создается положение, когда по мере развития производственной техники человек превращается все в большей степени в низкоквалифицированный «придаток» весьма совершенных машин, вынужденный около них выполнять однообразные примитивные ручные операции. Такие операции утомительны вследствие быстрого темпа работы обслуживаемых человеком машин, в ряде случаев тяжелы, а в некоторых заводских цехах и на энергетических установках производятся во вредных и даже опасных условиях.

Значительная часть ручных операций связана с обслуживанием станков и автоматических линий. Человек вручную перекладывает изделия с одной линии на другую; в штамповочных цехах закладывает заготовку под пресс и вынимает ее оттуда (детали при этом могут быть весьма тяжелыми); при сварке автомобильного кузова вручную перемещает сварочную головку и т. п. Много однообразной, монотонной работы на сборочных конвейерах. Такие работы не только трудны физически, но утомительны, отрицательно действуют на психику человека.

Традиционными средствами невозможно автоматизировать многие из вспомогательных ручных операций. Именно робототехнические системы являются тем принципиально новым техническим средством комплексной автоматизации производственных процессов, которое дает возможность наиболее полно заменить ручной труд как на вспомогательных, так и на основных технологических операциях. Эти возможности робототехнических систем могут быть распространены на все виды трудовой деятельности в различных отраслях народного хозяйства.

В первую очередь — это автоматизация вредных и опас-

ных работ. Например, сталевар выпускает расплавленный металл из доменной печи; клепальщик при сборке самолетов работает в условиях интенсивного шума; трудна и опасна работа забойщика в угольной шахте, водолаза при подводных работах; при обслуживании атомных электростанций появление оператора в рабочей зоне вообще недопустимо. Во всех этих случаях целесообразно применение роботов. Если в некоторых из них оно необходимо в силу самих условий работы, то в большинстве диктуется необходимостью обеспечить человеку достойные и безопасные условия работы, снизить его утомляемость, устранить профессиональные заболевания.

Роботизация может оказать значительную помощь в выполнении Продовольственной программы. Создание мощных агропромышленных комплексов требует существенного повышения производительности труда в сельскохозяйственном производстве. Здесь также немало операций, для выполнения которых могут использоваться специализированные сельскохозяйственные роботы. Мобильный, автономный робот (МАР-1), разработанный в Московском институте инженеров сельскохозяйственного производства, использовался в откормочных корпусах свиноводческого комплекса на выполнении наиболее тяжелой и неприятной работы по уборке помещений. Результаты испытаний показали, что три таких робота полностью высвобождают персонал (при этом комплекс сможет производить дополнительно 70 т свинины в год). Срок окупаемости капиталовложений составляет, без учета дополнительно получаемой продукции, 3,3 года, а с учетом — 1,7 года [75] (в промышленности срок окупаемости роботов в среднем составляет 1,5 года). Главное же преимущество — в изменении самого трудового процесса: человек становится оператором, наладчиком манипуляционного робота, организатором сельскохозяйственного производства.

Для растениеводства разрабатываются робототехнические системы, которые представляют собой блок механических рук, смонтированных на раме, перемещаемой трактором. Такой блок может заменить большое количество специализированных машин на уборке овощей, плодов, чая, сахарной свеклы, а также на прополке и других операциях ухода за растениями. Каждый блок освобождает 6—8 человек на уборке овощных культур, 12—15 человек на уборке плодов. Срок окупаемости — не более 3 лет [76]. Применение роботов в растениеводстве особенно эффективно в тепличных хозяйствах, поскольку здесь может

быть специально организована рабочая среда робота (например, при посадке лука робот может запоминать координаты луковиц, а затем собирать зелень, связывать ее и грузить в транспортные средства) [77].

Внедрение роботов в сельскохозяйственное производство еще в большей степени, чем в промышленности, способствует сближению умственного и физического труда. Оно будет также способствовать повышению культуры сельскохозяйственного производства, сближению условий труда в городе и на селе.

В десятой пятилетке в СССР было разработано и создано более 100 моделей промышленных роботов, кроме того, внедрено более 7 тыс. автоматических манипуляторов. На производстве с тяжелыми и опасными условиями труда благодаря внедрению робототехники условно высвобождено примерно 20 тыс. человек [78]. За одиннадцатую пятилетку всего промышленных роботов должно быть изготовлено в 8 раз больше по сравнению с десятой пятилеткой. По расчетам специалистов, экономический эффект от их производства и внедрения составит около 420 млн. руб. Применение роботов позволит не менее чем на 50% поднять сменность работы оборудования, производительность труда предположительно возрастет в 2—3 раза [79].

### Социально-экономическая эффективность роботов

Конечно, не гуманные соображения, а экономическая эффективность была основной причиной широкого внедрения робототехники для автоматизации ручных работ в капиталистических странах. В США в 1975 г. средняя почасовая оплата промышленных рабочих составляла 4,5 долл., в то время как эксплуатационные расходы на мини-роботы при двухсменной работе оценивались в 3 долл./ч. Уже в 1974 г. в развитых капиталистических странах использовалось около 3 тыс. промышленных роботов преимущественно типа «Версатран», «Юнимейт», «Тралфа». Эти роботы весьма надежны; например, «Юнимейт» может работать, не требуя остановки на обслуживание, 500—700 ч, а общий срок его службы достигает 40 тыс. ч. Потери, связанные с простоями при ремонте и переналадке, не превышают 2% общего рабочего времени, затраты (стоимость одного робота 25—35 тыс. долл.) окупаются за 1,5—2,5 года. Ежегодная экономия от 25 роботов «Юнимейт» составляет не менее 100 тыс. долл. Эти

обстоятельства обусловили неуклонный рост капиталовложений в робототехнику.

Объем выпуска промышленных роботов в капиталистических странах по стоимости сравнительно невелик. В 1980 г. он составил 460 млн. долл. (при объеме, например, производства металлообрабатывающего оборудования 18,8 млрд. долл.). Больше всего средств на робототехнику затрачивалось в Японии (375 млн. долл.). Несколько меньше объем производства роботов в США (50 млн. долл.) и Западной Европе (39 млн. долл.). Однако темпы прироста выпуска роботов весьма велики; в среднем в 80-е годы они могут составить 25% [80]. По оценкам на 1984 г. в США будет продано 2650 промышленных роботов на сумму 82 млн. долл. К производству роботов в США подключаются такие крупные корпорации, как «Дженерал моторс» и «Дженерал электрик». Первая из них совместно с фирмой «Юнимейшн» выпустила универсальный робот «Пума», предназначенный для сборки (в первую очередь на конвейере автомобильных заводов).

Считают, что внедрение роботов в промышленность стало экономически оправданным лишь в последние несколько лет благодаря резкому снижению стоимости систем управления, главным образом появлению недорогих микропроцессоров. На долю систем управления приходится одна треть стоимости робота [80].

В 1980 г. в капиталистических странах насчитывалось 13,5 тыс. промышленных роботов, из них 7,5 тыс. в Японии (с учетом манипуляторов парк роботов в Японии оценивается в 50 тыс. штук), 3,5 тыс. в США, свыше 2 тыс. в Западной Европе. Наибольшая доля роботов приходится на автомобилестроение (35%), производство электротехнического оборудования (25%) и общее машиностроение (12%). Четвертая часть промышленных роботов используется на вредных участках производства. Весьма эффективно использование роботов на операциях, требующих высокой скорости работы. Так, на станках с числовым программным управлением они позволяют сменить инструмент за 5 с, производить покраску со скоростью 2000 мм/с и т. д. Благодаря гибкости, возможности быстрой переналадки 60% капиталовложений в роботизированные системы остаются постоянными при изменении номенклатуры продукции [80].

Внедрение роботов позволяет не только удалить человека из опасных зон, но и повысить производительность труда, обеспечить экономию сырья. По зарубежным дан-

ным, при амортизации робота стоимостью 50 тыс. долл. в течение 8 лет эксплуатационные расходы составляют одну четверть зарплаты рабочего. Это обстоятельство и стимулирует капиталистические фирмы к внедрению роботов (к тому же роботы не бастуют, их рабочее время за смену дольше, они не болеют, не опаздывают и т. д.).

По прогнозам, в 1990 г. в США будет выпускаться 23 тыс. промышленных роботов, а цена одного робота в среднем уменьшится с 50 тыс. долл. (1981 г.) до 10 тыс. долл. При этом затраты на промышленный робот в час составят менее 1 долл., что обеспечит ежегодный доход на капиталовложения более 100%.

Применение роботов в промышленности, связанное с сокращением числа рабочих мест, обостряет социальные конфликты в капиталистическом обществе. Например, план роботизации фирмы «Дженерал электрик» приведет в середине 80-х годов к вытеснению 37 тыс. рабочих-сборщиков. Предполагается, что к 1990 г. в США дуговая сварка будет выполняться в основном роботами, что приведет к сокращению 50% рабочих. На 90% может сократиться число рабочих, занятых на обработке поверхностей и покраске. В среднем к 1990 г. роботы в развитых капиталистических странах могут вытеснить до 75% современной рабочей силы. При этом, естественно, возникнут новые рабочие места для высококвалифицированного персонала — наладчиков, программистов, конструкторов роботов.

Совершенно иные социальные последствия будет иметь роботизация производства при социализме. Широкое внедрение робототехники в СССР обусловлено не только экономическими, но и социальными соображениями, прежде всего заботой о человеке, стремлением освободить его от тяжелого и однообразного труда, повысить культуру труда, дать возможность трудящимся шире использовать свои интеллектуальные возможности. Этим определяется социальное значение внедрения робототехники при социализме.

Освобождение людей от тяжелого, утомительного и вредного труда на производстве позволяет перевести их на более интересную, более творческую работу. После соответствующего повышения квалификации они смогут, в частности, обеспечивать программирование, настройку, ремонт роботов, участвовать в создании роботизированных участков и цехов. При внедрении роботов повышается культура труда, создаются предпосылки для духовного роста личности, робототехника становится средством для

сближения умственного и физического труда, развития творческого начала в человеке. Человек в роботизированном производстве уже не «придаток» машины, предназначенный для примитивных операций возле нее, а контролер и наладчик. Это обстоятельство коренным образом меняет характер труда, повышает его социальную привлекательность. Меняется роль мастера и инженера-технолога. Кроме того, широкое внедрение робототехники обеспечит стабильное развитие промышленного производства, независимое от колебаний численности трудящихся, занятых в производстве.

Большое социальное значение робототехники состоит не только в повышении культуры труда и экономии трудовых ресурсов, но также и в оздоровлении трудящихся. В самом деле, замена ручного труда машинным с участием роботов и манипуляторов ликвидирует многие профзаболевания. Освобождение человека от утомительных однообразных и тяжелых работ, в частности в условиях запыленности, загазованности, высокой температуры, шума, вибраций, от работ, связанных с перенапряжением тех или других органов чувств ставит его в более благоприятную для здоровья обстановку. Это касается как обычных производственных условий, так и особенно экстремальных — при наличии радиации, при работе с взрывоопасными предметами, на дне океана и др.

Применение промышленной робототехники, таким образом, в корне меняет в благоприятную сторону всю социальную картину трудовой деятельности на производстве, а также профессиональный профиль рабочего и многих специалистов.

Использование роботов в промышленности существенно изменяет инфраструктуру производства. Как показал опыт, роботизация отдельных участков при сохранении прежнего технологического процесса в целом малоэффективна. Наибольший эффект достигается при роботизации крупных производственных циклов, что влечет за собой необходимость (в большинстве случаев) изменения технологических процессов. Возникает новая область технических знаний — технология роботизированного производства.

Применение роботов в широких масштабах требует пересмотра вопросов управления производством. Непосредственное включение в технологический процесс роботов и вычислительных машин, управляющих их работой, требует четкой организации производства, строгого соблю-

дения ритмичности, предъявляет повышенные требования к качеству обслуживания технологических процессов — снабжению материалами, контролю продукции, ее складированию и отгрузке.

Таким образом создаются предпосылки к строительству роботизированных цехов, а в дальнейшем и роботизированных производств, полностью автоматических заводов. Человек будет здесь выполнять функции управления, контроля, наладки и ремонта. Основной технологический процесс будет обеспечиваться робототехническими системами, включающими, помимо роботов и ЭВМ, разнообразное производственное оборудование, объединенное в единые технологические комплексы.

Экономическая эффективность робототехники связана с повышением производительности труда (иногда в несколько раз) за счет ускорения и сокращения вспомогательных, а часто и основных операций, а также за счет новых возможностей организации технологических процессов при участии в них роботов — повышения ритмичности, многосменности производства. Существенно при этом и сокращение рабочей силы, когда вспомогательные операции выполняются роботами.

Однако было бы неправильно судить об эффективности внедрения роботов только по числу условно высвобождаемых рабочих. Если учесть, что роботы используются там, где имеется дефицит рабочей силы, то показатель «высвобождения» персонала вообще теряет смысл. Как отмечает И. М. Макаров, «социально-экономическая эффективность роботизации даже в технологических сферах с тяжелым, монотонным и опасным трудом зависит не столько от фактического числа высвобождаемых рабочих, сколько от повышения престижности и привлекательности труда (а следовательно, устранения дефицита трудовых ресурсов), увеличения доли творчества в трудовом процессе и повышения технологической культуры производства» [81].

Исключение людей из технологического процесса (как на вспомогательных, так и на основных операциях — сварке, сборке, окраске и т. п.), помимо существенного повышения производительности труда, влечет за собой и другие экономические преимущества. Во-первых, производство перестает зависеть от невнимательности, усталости рабочего, вследствие чего более четко удовлетворяются все требования технологии, поэтому снижается брак и повышается качество изделий. Во-вторых, облегчается организация двух- и трехсменной работы, что приводит к более полному

использованию всего производственного оборудования. В-третьих, отсутствие человека в технологическом процессе позволяет отказаться от затрат на создание комфортных условий, чистоты атмосферы, освещенности и пр. В-четвертых, исключаются расходы на профилактику профзаболеваний, травматизма и многие бытовые услуги.

Наконец, важно, что робот, в отличие от традиционного автомата, является универсальной и многоцелевой технической системой, которая легко перестраивается на любой цикл манипуляционных операций (в пределах возможностей каждого робота).

Автомат экономически выгоден там, где одна и та же операция выполняется в течение всего срока его службы, т. е. при массовом производстве. Но многие производства работают циклически, когда на одном и том же оборудовании периодически меняются изготавливаемые объекты. Тогда для того же круга операций экономически выгоднее становится универсальное многофункциональное устройство робототехнического типа. Это является основой создания новых гибких производств, легко переналаживаемых при изменении выпускаемой продукции и технологии ее изготовления. Кроме того, роботы имеют значительно более широкую область применения и могут использоваться там, где традиционную автоматику вообще нельзя использовать. Поэтому с внедрением роботов в общий технологический комплекс появляются принципиально новые возможности, и не только в заводских цехах, но и в шахтах (безлюдная добыча), при освоении морского шельфа и др. Здесь экономический эффект от применения роботов обусловлен освоением природных богатств, недоступных ранее человечеству.

Сказанное приводит к мысли о том, что для расчета экономической эффективности применения роботов нужны новые методы, отличные от принятых для традиционных видов оборудования. При этом экономические факторы здесь неотделимы от социальных. Требуется разработка комплексной, социально-экономической оценки роботизации. Она должна также учитывать, что при внедрении роботов люди остаются на производстве, но структура и квалификация персонала в корне меняются, возникают специальные проектно-конструкторские и технологические службы. Нельзя не согласиться с И. М. Макаровым, что «при оценке эффективности роботизации важнее знать, какое количество дополнительных трудовых ресурсов, включая профессии более высокой квалификации, привле-

чено в данное производство для его усовершенствования, чем сколько условных единиц персонала заменено роботами» [81].

Помимо рассмотренных выше областей использования роботов в промышленности и сельском хозяйстве, существует большое число других сфер приложения робототехники, как связанных с производством, так и непроизводственных. Например, важной областью роботизации ручного труда являются чертежно-конструкторские работы, контрольные операции на производстве и др. В широком смысле в задачи робототехники можно включить и создание роботов-специалистов, а именно робота-проектировщика, робота-кассира, робота-библиографа, робота-переводчика — как дальнейшее развитие соответствующих автоматизированных систем до полностью автоматических, когда человек дает только задание и получает результат.

Сейчас на Западе получили развитие технократические теории, построенные на предположении, что само по себе развитие техники может привести к общественному прогрессу, снять социальные конфликты [69, с. 148, 149]. Действительно, машинизация влияет на социальную структуру общества — возрастает численность квалифицированных рабочих, однако классовые противоречия между трудом и капиталом при этом не снимаются. Хорошо организованное планирование экономики может снизить остроту кризисных явлений, но устранить эти явления машины не могут, поскольку кризисы являются неотъемлемым свойством капиталистического производства. Роботы облегчают труд человека, освобождают его от тяжелых операций и создают объективную предпосылку для развития творческих сил человека. Тем не менее эта предпосылка никогда не будет реализована при капитализме, поскольку «ценой» человека здесь служит цена его труда. И если робот окажется более эффективным, человек будет выброшен на улицу и пополнит армию безработных.

Однако массовая безработица влечет за собой снижение покупательной способности населения. Поэтому может возникнуть ситуация, когда продукцию, производимую в большом количестве роботами, некому будет покупать. Возможность экономического спада, вызванного широким применением робототехники, предназначенной как раз для облегчения труда и увеличения объема производства, является одним из проявлений противоречий капиталистического способа производства.

Напротив, при социализме внедрение робототехники

находится в полном соответствии с целями и интересами общества. Безработица в нашем обществе отсутствует, ощущается даже нехватка рабочей силы. Роботизация производства компенсирует эту нехватку. А освободившиеся рабочие, как уже говорилось, получат более квалифицированную и интересную работу.

Это задачи общества развитого социализма, и в их решении важную роль среди других факторов играет роботизация производства.

## Роботы в непроизводственной сфере

Социальное значение робототехники определяется не только ее применением в промышленности и сельском хозяйстве, но и широким проникновением роботов в иные сферы человеческой деятельности.

Развитие науки привело к необходимости проводить исследования в средах, опасных для жизни человека, — в космосе, глубинах океана, в радиоактивных зонах ядерных установок и др. Роботы уже сегодня представляют собой технические средства для проведения исследований в таких средах — для обслуживания научного оборудования, сбора образцов и т. п. Без их помощи подобные задачи либо не могут быть выполнены вообще, либо связаны с опасностью и значительными трудностями для человека.

Советский «Луноход» был первым роботом, «осваивающим» другую планету. Советские подводные роботы (типа «Манта») успешно используются в геологических исследованиях, при составлении карт морского дна, изучении свойств глубоководной среды. В настоящее время в СССР и за рубежом разрабатываются универсальные манипуляционные роботы, предназначенные для выполнения буровых работ, монтажа технологического оборудования, для добычи полезных ископаемых — в первую очередь нефти, газа и ценных металлов непосредственно на дне моря. Освоение океанского шельфа — это важнейшая задача сегодняшнего дня, вызванная ростом народонаселения и истощением запасов полезных ископаемых на поверхности земли, и робототехника становится средством ее решения.

Другой важной проблемой, стоящей перед человечеством, является поиск новых источников энергии — создание ядерных реакторов, а также установок термоядерного синтеза. Эксплуатация подобных установок невозможна

без целой системы роботов и манипуляторов, управляемых человеком на расстоянии и действующих автономно по определенным программам.

Внедрение робототехники сулит значительный прогресс медицине, в первую очередь хирургии. Становится возможным проведение не только стерильных операций, требующих полной изоляции больного от среды операционного помещения, но и дистанционных, когда хирург находится на значительном удалении от больного и работает с помощью дистанционно управляемых манипуляторов, оснащенных необходимыми датчиками обратной связи. Другое направление в этой области — микрохирургия, использующая операционные манипуляторы, повторяющие движения рук хирурга в уменьшенном масштабе. Хирург при этом располагает системой отражения усилий, тактильными датчиками и другими средствами, придающими ему уверенность во время операции [82].

Роботы получают широкое применение при выполнении спасательных работ, особенно в экстремальных средах, например для подъема со дна океана затонувших кораблей.

Необходимо сказать также и о научных исследованиях в самой робототехнике. Дело в том, что теоретическое описание и исследование в таких сложных механоэлектронных системах, как робототехнические системы, ограничено лишь рамками отдельных узлов. Исследование же системы в целом требует создания многомашинных (из мини- и микро-ЭВМ) комплексов с внешними устройствами, позволяющими присоединять к этому комплексу на входе различную реальную датчиковую аппаратуру, применяемую для очувствления роботов, а на выходе — реальные механические «руки» робота (манипуляторы) с макетом среды, в которой он должен действовать. Такие универсальные полунатурные моделирующие комплексы позволяют исследовать и отрабатывать различные варианты адаптивных систем управления роботов (включая элементы искусственного интеллекта), а также создавать соответствующее алгоритмическое и программное обеспечение.

Робототехника предоставляет новые возможности для психологических исследований, прежде всего в области поведения человека. Анализируя рабочие движения человека с учетом решаемой задачи, обстановки, данных его рецепторов, можно составить соответствующие программы движения роботов. Используя формальные мето-

ды обучения роботов, функционирующих совместно с человеком, можно лучше понять, как строит свои движения человек.

Этот круг вопросов связан и с проблемой использования роботов в учебном процессе. Ее решение дает новые возможности при обучении с помощью ЭВМ, получившем широкое распространение уже сейчас. Здесь можно выделить два аспекта. Первый — это использование робота для обучения человека двигательным навыкам. Начальным шагом на этом пути является экспериментальное исследование рабочих или спортивных движений человека. Например, можно получить механические характеристики движений спортсмена, силы и моменты, развиваемые отдельными группами мышц. Возможен учебный антропоморфный робот, обладающий оптимальными характеристиками при выполнении данной операции или движения. Задачу подобной «оптимизации» иногда можно решить и математическими средствами, притом много быстрее, чем в процессе обучения человека. Такой робот мог бы использоваться для быстрого обучения человека двигательным навыкам.

Более глубокий аспект применения роботов при обучении состоит в том, что наделение ЭВМ механическими терминалами — руками и ногами — позволяет наглядно оценить результаты программирования. Это облегчает и ускоряет процесс общения с машиной.

Для этой же цели может использоваться и графический дисплей, воспроизводящий движения роботов — шагающих или манипуляционных. С его помощью оператор получает информацию о том, насколько успешно составлена программа движения. Такой способ имеет широкие возможности (поскольку робот на экране не является физическим устройством), с его помощью можно, например, исследовать прыжки и даже акробатические движения.

Управление роботом с помощью ЭВМ имеет определенные особенности, которые должны учитываться при обучении. Одна из них состоит в том, что оператор в процессе управления использует программы, которые он может и не знать: эти программы, обеспечивающие требуемое движение робота, составлены программистом. Задача управления, таким образом, как бы разделяется между программистом, который заранее составляет алгоритмы и программы управления, и оператором, который эти программы использует, благодаря чему происходит как бы

усиление творческих возможностей пользователя. Однако это требует и специального обучения работе с диалоговой системой, специальному языку управления роботами [83]. Указанная особенность вообще характерна для современного подхода к использованию ЭВМ, который определяется представлением об ЭВМ как об инструменте не только для вычислений, но и для решения интеллектуальных задач. Как отмечает Г. С. Поспелов, главная особенность нового стиля использования ЭВМ заключается в том, что мышление оператора становится менее формализованным и более человеческим, гуманитарным. Человек получает возможность оперировать представлениями на уровне языка, близкого к естественному, либо на уровне графических образов. При этом и стиль мышления приближается к естественному, т. е. все более свободному от жестких рамок математического обеспечения [84].

Эта особенность характерна в равной мере как для операторов, управляющих роботами с помощью ЭВМ, так и для специалистов по проектированию роботов. Математические и технические знания таких специалистов должны быть существенно дополнены знаниями в области философии, психологии, психофизиологии, а также социологии и экономики. Причем здесь речь идет не о простом возрастании объема знаний, который должен получить специалист-робототехник, а о синтезе гуманитарного знания и знания естественнонаучных (математических, технических) дисциплин, что представляет серьезную методологическую проблему. Решение этой проблемы, возможно, приведет к значительной перестройке системы образования специалистов в области робототехники (и шире — в области применения ЭВМ). Смысл перестройки будет состоять в том, чтобы перейти от обучения, в котором акцент сделан на накопление знаний, к обучению, в котором акцент смещен на развитие способностей человека к решению творческих задач в определенной области. Кстати, эта проблема, актуальность которой стала ясна в робототехнике, имеет характер всеобщей тенденции. Одно из последних определений обучения выглядит так: «Приобретение и применение новых методологических приемов, навыков, установок и ценностей, необходимых для того, чтобы жить в быстро меняющемся мире; обучение есть процесс подготовки к тому, чтобы справляться с новыми ситуациями» [85].

В постановке проблем нового стиля работы, нового стиля обучения проявляется косвенное влияние робототехники и вычислительной техники на человека. Непосредственное влияние может оказать робототехника, применяемая в сфере обслуживания и в быту. Сейчас труд в прачечных, химчистках и тому подобных предприятиях бытового обслуживания нередко связан с тяжелыми и вредными работами, и роботизация здесь не менее важна, чем в заводском производстве. В торговле, при транспортировке товаров, на базах, складах тоже преобладает примитивный и часто тяжелый ручной труд, требующий роботизации в совокупности со всеми другими видами малой механизации. Сложнее сейчас говорить о применении роботов в домашнем быту, хотя этот вопрос тоже скоро встанет на повестку дня.

Итак, проникая в различные сферы человеческой деятельности, роботы всюду, по существу, играют одну и ту же роль: расширяют возможности человека в производственной деятельности и других сферах его жизни, в познании природы и самого себя. Они изменяют характер труда, давая возможность человеку в большей мере проявлять творческие способности. Тем самым они оказывают влияние и на развитие социалистического общества в целом.

## «ВЗАИМООТНОШЕНИЯ» ЧЕЛОВЕКА И РОБОТА

### Социальные «опасности» робототехники

Проблема взаимоотношений между человеком и роботом является частью более общей проблемы взаимоотношений между человеком и техникой, возникшей задолго до появления роботов. Существо этой проблемы состоит в том, что с развитием техники и под ее влиянием меняется сам человек. Техника позволяет удовлетворить материальные потребности человека, однако при этом возникают все новые потребности, меняется сам уклад жизни, меняется характер труда. Это не может не оказывать влияния на духовный мир человека, систему его этических и эстетических норм. Возникает вопрос: приводит ли развитие техники само по себе к духовному совершенствованию человека?

Начиная с прошлого века ученые, писатели и поэты отмечали обратную тенденцию, а именно возрастание

утилитарных интересов людей и снижение их духовной активности. Баратынский так характеризовал XIX век:

Век шествует своим путем железным;
В сердцах корысть, и общая мечта
час от часу насущным и полезным
отчетливей, бесстыдней занята.
Исчезнули при свете просвещения
Поэзии ребяческие сны,
И не о ней хлопочут поколенья,
Промышленным заботам преданы.

О моральной деградации, связанной с развитием техники при капитализме, писал К. Маркс: «Победы техники как бы куплены ценой моральной деградации. Кажется, что, по мере того как человечество подчиняет себе природу, человек становится рабом других людей либо же рабом своей собственной подлости... Все наши открытия и весь наш прогресс как бы приводят к тому, что материальные силы наделяются интеллектуальной жизнью, а человеческая жизнь, лишенная своей интеллектуальной стороны, низводится до степени простой материальной силы» [86]. К. Маркс имел в виду современное ему капиталистическое производство. Однако появление электронно-вычислительных машин и роботов в наше время не изменило существа дела. Вот что пишет о современном капиталистическом обществе американский социолог Э. Фромм: «...полностью механизированное общество... отдающееся максимальному материальному производству и максимальному потреблению и управляемое компьютерами. Человек становится частью тотальной машины... пассивным, безжизненным и почти безчувственным существом» [87]. Его точку зрения разделяет Дж. Миллер: «Персональный дух гибнет в обезличенном технократическом сознании, человек теряет самое главное — свою уникальную персональность; его свободно и безболезненно может заменить любой человек, столь же стандартный, трезвый конформист, всецело подвластный машинной тирании. Все запрограммировано в жизнедеятельности, даже человеческие судьбы» [88].

Продолжая эту мысль, можно представить, что человека в этой «запрограммированной» жизнедеятельности сможет заменить не только любой другой человек, но и робот. Не приведет ли это к окончательной гибели «персонального духа»? Другими словами, не приведет ли развитие робототехники к тому, что человек станет в большей мере походить на робота, чем на человека? Серьезность этой

проблемы понимал еще Н. Винер. Он писал: «Мы не можем больше оценивать человека по работе, которую он делает. Мы должны оценивать его как человека. В этом вся суть. Вся уйма работы, для которой мы сейчас используем людей,— это работа, которая в действительности лучше делается вычислительными машинами... Если мы настаиваем на применении машин повсюду, безотносительно к людям, но не переходим к самым фундаментальным построениям и не даем людям надлежащего места в мире, мы погибли» [89].

В этих словах выражена суть проблемы. Она состоит в том, что нельзя рассматривать автоматизацию как самоцель — в отрыве от проблемы развития и совершенствования человека, его жизни. И тем не менее в условиях капитализма автоматизация остается и будет всегда оставаться самоцелью, так как она обеспечивает прибыль, а развитие личности, напротив, требует затрат. Поэтому не приходится рассчитывать на те «фундаментальные построения», о которых говорит Н. Винер,— они противоречат сущности капиталистического общества. Автоматизация безусловно влияет на личность, но не способна перестроить социальную структуру общества.

В социалистическом обществе автоматизация является не целью, а средством создания условий развития личности. Советский психолог А. Н. Леонтьев писал: «...единственно существенным субъектом труда и творчества был, остается и всегда будет человек... Напротив, машина, какой совершенной и «разумной» она ни была бы,— лишь опосредует деятельность человека, преобразующего природу, и в этом смысле в принципе ничем не отличается от орудия. Этот подход, таким образом, не отделяет проблемы развития автоматизации от проблемы развития человека, его творческих сил и способностей. Вместе с тем он не отделяет решения проблемы «автоматизация и человек» и от социальных условий и социальных следствий технического прогресса» [70].

Отсутствие при социализме противоречия между автоматизацией и развитием личности не означает отсутствия социальных проблем, связанных с роботизацией. Главная из них заключается в том, что при решении задач автоматизации производства в центре внимания всегда должен быть человек, его изменяющаяся профессиональная деятельность. Оснащенные роботами заводы-автоматы не устраняют полностью человека из сферы производства. На таких предприятиях остается штат высококвалифици-

рованных специалистов по эксплуатации электронно-вычислительной техники и роботов, по организации робототехнологических комплексов.

Гибкость роботизированного производства дает простор интеллектуальным способностям операторов-наладчиков по наиболее рациональной переналадке технологического оборудования. Ничем, по-видимому, не ограничено и поле деятельности инженеров по дальнейшему усовершенствованию и развитию робототехнического производства.

Не исключение человека из производства, а ликвидация рутинного, неинтересного, однообразного ручного труда и целенаправленное изменение профессиональной деятельности человека в разных сферах, дающее простор его возможностям как творческой личности,— такова наша задача автоматизации производства. «Речь, в сущности, идет о том, чтобы труд приобрел такие объективные свойства, которые сами по себе рождают глубокий профессиональный интерес и пробуждают творческие способности и позволяют их реализовать. В этом случае труд и выступает всецело как объект важнейшей человеческой потребности»,— писал журнал «Коммунист» [90].

Решение этой задачи отнюдь не достигается само собой при внедрении робототехники. Напротив, роботы придают производству жесткий ритм, который может оказаться психологически трудно переносим для человека, занятого в том же технологическом цикле. Поэтому роботизация оказывается особенно целесообразной, когда охватывает крупные производственные участки, включающие не только основные, но и вспомогательные технологические операции, в том числе загрузку деталей, их штабелирование и складирование. В противном случае на некоторых участках технологического процесса человек может превратиться в «придаток» робототехнической системы — будет нарушен основной принцип комплексной автоматизации, о котором говорилось выше.

Менее явный и поэтому более опасный случай превращения человека в «придаток» робота связан с формализацией интеллектуальных операций. Работа оператора роботов второго и третьего поколений — это, по существу, работа с электронно-вычислительной машиной по решению задач искусственного интеллекта. Формализм этих задач, специфика их решения не могут не оказывать влияния на мышление человека. Сегодня опасность роботизации все чаще видят не в том, что машина станет думать, как человек, или даже превзойдет его, а в том, чтобы человек

не стал мыслить, как машина [91]. Опасность «машинного мышления» возникает в тех случаях, когда переоценивается роль ЭВМ и недооцениваются возможности человеческого интеллекта. Нечто подобное имело место на первой стадии внедрения АСУ, когда казалось, что наличие ЭВМ, создание больших массивов информации и применение вычислительных методов само по себе позволяет успешно решать задачи управления производством. Однако на практике внедрение ЭВМ в сферу управления привело не столько к его автоматизации, сколько к перестройке методики решения задач управления человеком.

Здесь проявляется новая, и на первый взгляд неожиданная, роль ЭВМ как инициатора методологической работы пользователя. Исследователь принуждается к тому, чтобы посмотреть на свою профессиональную деятельность извне. Изменение стиля мышления, упорядочение его методики при сохранении всех качеств человеческого интеллекта — таково должно быть влияние ЭВМ на интеллектуальную сторону деятельности оператора.

## Роботы и мораль

По мере развития науки и техники вычислительные машины и роботы освоят различные сферы деятельности человека. При этом возникнет общество людей и роботов, которое можно назвать человеко-машинным социумом. В какой мере сохранится человеческая мораль в этом социуме, насколько машина сможет изменить устоявшиеся нормы нравственности? Этот вопрос требует специального рассмотрения, однако некоторые его аспекты мы затронем.

Прежде всего заметим, что роботы сами по себе лишены морали; они являются лишь носителями нравственных норм человека и в таком качестве могут влиять на нравственность самого человека и человеко-машинного социума в целом. В большинстве научно-фантастических романов роботы наделяются моральными качествами, которые, по существу, являются отражением соответствующих человеческих норм поведения. Так, известные три закона робототехники А. Азимова представляют собой до крайности упрощенную формализацию этических норм, существующих в обществе. По Азимову, получается, что, если некто исполняет все законы робототехники, он или робот, или высоконравственный человек [92].

Утверждения о том, что робот может быть наделен моральными качествами, можно встретить не только на

страницах фантастической литературы. Есть и научные работы, в которых рассматривается, например, возможность создания машины, которая обладала бы совестью [93]. Следует подчеркнуть, что в таких работах на самом деле речь идет не о морали роботов, а об имитации ее проявлений. Различие принципиальное. Не так сложно заложить определенные правила поведения в систему управления робота, однако понятия, лежащие в основе нравственного поведения человека,— добро и зло, любовь и ненависть, доверие, надежда и т. п.— бессмысленны для робота. Эти понятия социальны и поэтому могут быть усвоены только человеком в процессе его общественной жизни и на основании индивидуального социального опыта. Действительно, как, к примеру, реализовать принцип «робот не может причинить вред человеку»? В простейшем случае, например, чтобы промышленный робот не травмировал человека, возможны соответствующие ограждения, самовыключение робота при неисправности системы управления и т. п. Но в общем случае, чтобы решить, чтó вредно для человека, нужно знать самого человека, образ его жизни, взаимоотношения с окружающим миром, правильно понимать конкретную ситуацию, наконец, чувствовать, что в данном случае есть зло для данного человека, а что добро.

Итак, нравственность остается прерогативой человека. Каким же образом робототехника может повлиять на нравственность?

Автоматизация и жесткая рационализация производства нередко приводят к тому, что на производстве человек работает тем успешнее, чем глубже он освоил узкий круг своих обязанностей. Такая оценка иногда начинает переноситься и на сферу внепроизводственных отношений. Как пишет Д. Гранин, «личность начинает иногда цениться в первую очередь по ее знаниям, по ее способностям — научным, техническим, организаторским. Общительность, доброта, правдивость — то, что так украшает жизнь и так нужно окружающим людям,— в этих условиях формально не учитываются, меньше значат, чем умение обслужить машину и дать норму» [94]. Это приводит к прагматизму, рационалистическому отношению к жизни и к людям; требование немедленной пользы, отдачи иногда воспринимается как один из принципов научно-технической революции. Появляется односторонне развитый человек-функция. Вопросы всестороннего развития личности как бы теряют свою актуальность в глазах об-

щества. Эти тенденции проявляются, в частности, в снижении интереса к искусству, литературе, музыке.

Прагматизм, утилитарное отношение к жизни не имеет социальных корней в нашем обществе. Научно-техническая революция при социализме является не самоцелью, а средством развития, самовыражения личности — гармонически развитой, социально активной. Однако при этом появляются задачи воспитания личности — помочь ей реализовать возможности, предоставляемые обществом.

Возможны и другие формы влияния роботизированного производства на человеческие взаимоотношения, в частности руководителя и подчиненного. Руководитель-«машинопоклонник» (о котором писал Н. Винер) [95, с. 64] предпочитает сотрудников, у которых исполнительность превалирует над инициативой. Такой «машинопоклонник» предпочитает машину человеку не только за точность, быстродействие и т. п., но и за возможность переложить ответственность за принятие решений на ЭВМ, которая обладает бесспорной объективностью.

Еще один важный этический аспект робототехники связан с ответственностью ученого. Особенно остро этот аспект проявляется в капиталистическом обществе, где в его основе лежит проблема использования новейших научных результатов в интересах, далеких от интересов общества. Очевидно, и в данном случае машина не страшна сама по себе, а все дело заключается в доброй или злой воле людей, которые ее используют.

В книге «Кибернетика и общество» Н. Винер указывает на еще одну «опасность» вычислительных машин, заключающуюся в том, что машины, безвредные сами по себе, «могут быть использованы человеком или группой людей для усиления своего господства над остальной человеческой расой, или в том, что политические лидеры могут попытаться управлять своим народом посредством не самих машин, а посредством политической техники, столь узкой и индифферентной к человеческим возможностям, как если бы эта техника действительно вырабатывалась механически» [96]. Одним из аспектов такой политики является использование вычислительных машин для контроля над личностью. Опасность представляет накопление с помощью ЭВМ информации относительно всех сторон личности, ее социальной активности, политических мнений, связей и т. п., что создает угрозу ее суверенитету. Разумеется, эта угроза возникает не со стороны машин, а со стороны людей, их использующих.

В определенной мере такие информационные данные в памяти ЭВМ, например, о сотрудниках какого-либо предприятия могут, конечно, использоваться и в социалистическом обществе. При ответственном отношении к таким данным они значительно облегчают работу отдела кадров. Возможны и банки данных, создаваемых с определенной целью; например, сейчас обсуждается вопрос о создании справочно-информационной службы в области права. Однако этика социалистического общества ограничивает применение машин в этой области. Пределы создания и использования банков социальной или личностной информации устанавливаются в соответствии с интересами личности, принципами нравственности, нормами социалистического права.

Проблема этических ограничений, по-видимому, будет сохраняться с развитием робототехники, так как робототехника может затронуть весьма существенные стороны человеческой жизни. Например, среди прогнозов в этой области, кажущихся вполне реальными,— создание кибернетических организмов — киборгов, представляющих собой симбиоз человека и робота. Протезирование сегодня позволяет оснащать человека искусственными конечностями, искусственными органами кровообращения, дыхания и т. п., и протезы настолько совершенны, что человек, оснащенный ими, продолжает вести активную жизнь. Можно представить, что на какой-то стадии развития протезирования встанет вопрос о том, где проходит граница между человеком и киборгом. Функциональные возможности такого организма могут быть специализированы, например, для работы в космосе или под водой. Возможно, продолжительность его жизни возрастет. Однако возникнут и сложные этические проблемы, поскольку нарушается суверенитет личности, открываются возможности использования личности вопреки ее желанию. И наконец, возникает вопрос: является киборг личностью или роботом?

Если говорить о еще более удаленной перспективе, в которой, по выражению Н. Винера, человека можно будет закодировать и передать по телеграфу, то этические проблемы, связанные с такой передачей, еще более возрастут. Отметим хотя бы проблему возникновения помех (в том числе умышленных) в канале предполагаемой связи.

Можно ли полагать, что этические проблемы, о которых мы только что говорили, решаются сами собой, с уче-

том этики, свойственной научной работе, и моральных обязательств ученых? Среди западных ученых нередко высказывается именно такая точка зрения, поэтому отрицается необходимость государственной и общественной регламентации науки. Сами дискуссии об этических проблемах науки объявляются тормозящими ее прогресс.

Такая точка зрения неверна. Наука не может регулироваться лишь на этическом уровне, так как этические принципы в науке не могут рассматриваться изолированно от других форм ее ценностной ориентации, прежде всего от социальных факторов, разных, а иногда и противоположных при капитализме и социализме [97]. Необходимо управление наукой со стороны общества и в этой этической сфере. Например, путем разработки этических кодексов (в будущем обязательно единых, наднациональных), которые относились бы к сфере научных исследований, затрагивающих жизненные интересы людей, в том числе и в сфере робототехники.

Обсудим еще один аспект, связанный с взаимодействием человека — носителя морали и робота, лишенного моральных установок. Отдавая указания роботу, человек всегда предполагает, подразумевает определенные моральные нормы, которые должны быть соблюдены при выполнении задания, в то же время робот свободен (или частично свободен) от этих норм. На серьезность возникающих при этом задач обращал внимание еще Винер: «Если вы ведете игру, соблюдая все правила, и настраиваете машину так, чтобы она играла на выигрыш, вы получите его — если получите что-либо вообще,— но при этом машина не обратит ни малейшего внимания на любые соображения, за исключением тех, которые согласно установленным правилам, приводят ее к выигрышу. Если вы ведете военную игру с некоторой условной интерпретацией победы, то победа будет достигнута любой ценой, даже ценой уничтожения вашей собственной стороны, если только сохранение ее жизнеспособности не будет совершенно четко запрограммировано в числе условий победы» [95, с. 70]. Однако и в более частных задачах желание человека всегда выражается неточно, и непонимание роботом того, что на самом деле имел в виду человек, каковы его истинные цели, может приводить к катастрофическим последствиям.

Каков же вывод из предполагаемой сложности «общения» человека с механическим существом, лишенным человеческой морали? Во-первых, такое «общение» по-

требует контроля человека над роботом во всех случаях, когда последний выполняет ответственное поручение. Какова бы ни была сложность задач, самостоятельно решаемых роботом, необходимость контроля не отпадает — она определяется, в частности, и моральными нормами, достаточно развитыми у человека. В противном случае может возникнуть соблазн отдать роботу указание, приводящее к цели, но нравственно неприемлемое — его не стал бы выполнять сознательный человек-исполнитель, но робот выполнит.

Значит, человеко-машинный социум предъявляет повышенные требования к нравственным качествам человека — эти качества должны сохраняться и развиваться, несмотря на отсутствие той активной «обратной связи», которая характерна для современного общества и проявляется как общественное осуждение.

Итак, роботизация связана с некоторыми «опасностями», реальными и, быть может, мнимыми. Однако не стоит преувеличивать страх перед этими опасностями, который возникал всегда при столкновении человека с новым, непривычным. Академик А. Н. Колмогоров писал по этому поводу: «Развитие науки многократно приводило к разрушению привычных для человека иллюзий, начиная с утешительной веры в личное бессмертие. На стадии полузнания и полупонимания эти разрушительные выводы науки становятся аргументами против самой науки, в пользу иррационализма и идеализма. Дарвиновская теория происхождения видов и павловское объективное изучение высшей нервной деятельности неоднократно изображались как принижающие высшие стремления человека к созданию моральных и эстетических идеалов. Аналогично в наше время страх перед тем, как бы человек не оказался ничем не лучше «бездушных» автоматов, делается психологическим аргументом в пользу витализма и иррационализма» [98].

Вместе с тем нельзя не учитывать, что каждое новое крупное достижение науки и техники подвергается фетишизации в общественном сознании. Этой участи не избежали вычислительные машины и роботы. При появлении мощных ЭВМ возникла уверенность, что они вот-вот решат проблему машинного перевода, станут играть в шахматы на уровне мастера и т. д. В свою очередь, это породило поток статей (рассчитанных на массового читателя), где описывались необыкновенные способности машин. И сейчас нередко можно прочесть, что робот на-

учился понимать человеческую речь, что он вот-вот заменит человека на производстве, при проектировании изделий, их сборке по чертежам и т. д. Не приводит ли это к выводу, что человек постепенно освободится от труда, в том числе и умственного?

Это опасное заблуждение, так как возможность удовлетворения всех потребностей, не связанная с активной творческой деятельностью, неизбежно привела бы к духовному регрессу, вырождению личности. Как пишет Н. Винер, «будущее оставляет мало надежд для тех, кто ожидает, что наши новые механические рабы создадут для нас мир, в котором мы будем освобождены от необходимости мыслить. Помочь они нам могут, но при условии, что наши честь и разум будут удовлетворять требованиям самой высокой морали. Мир будущего потребует еще более суровой борьбы против ограниченности нашего разума, он не позволит нам возлежать на ложе, ожидая появления наших роботов-рабов» [95, с. 80].

Роботы коренным образом изменяют форму и содержание трудовой деятельности человека, поднимают культуру труда, делают его более интересным и квалифицированным [99]. Но труд всегда будет органически свойствен человеку. Труд создал человека, и вне труда невозможно его полноценное существование.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Материалы XXVI съезда КПСС. М.: Политиздат, 1981.
2. *Кедров Б. М.* Ленин и научные революции. Естествознание. Физика. М.: Наука, 1980.
3. *Попов Е. П.* Роботы — на службу человеку. М.: Знание, 1981.
4. *Кулешов В. С., Лакота Н. А.* Динамика систем управления манипуляторами. М.: Энергия, 1971.
5. *Попов Е. П., Верещагин А. Ф., Зенкевич С. Л.* Манипуляционные роботы: Динамика и алгоритмы. М.: Наука, 1978.
6. *Медведев В. С., Лесков А. Г., Ющенко А. С.* Системы управления манипуляционных роботов. М.: Наука, 1978.
7. Проектирование следящих систем двустороннего действия/Под ред. В. С. Кулешова. М.: Машиностроение, 1981.
8. *Попов Е. П.* Роботы – помощники в делах человеческих.— В кн.: Кибернетика, перспективы развития. М.: Наука, 1981.
9. *Попов Е. П.* Психология и робототехника.– Психол. журн., 1980, № 3.
10. *Ленин В. И.* Полн. собр. соч., т. 39.
11. *Платон.* Сочинения. Эвтифрон. СПб., 1863. Т. 1.
12. *Аристотель.* Этика.— В кн.: Этика Аристотеля. СПб., 1908.
13. *Декарт Р.* Избранные произведения. М.: Госполитиздат, 1950.
14. *Ламерти Ж.* Человек-машина. Антология мировой философии. М.: Мысль, 1970. Т. 3.
15. *Гоббс Т.* Избранные произведения. М., 1964. Т. 2.
16. *Орфеев Ю. В., Тюхтин В. С.* Мышление человека и искусственный интеллект. М.: Мысль, 1978.
17. *Leibniz G. W.* Fragmente zur Logik. B.: Akad. Verl., 1960. Рус. пер. цит. по: *Дрейфус X.* Чего не могут вычислительные машины. М.: Прогресс, 1978, с. 9, 10.
18. *Гегель Г. В. Ф.* Соч. М.; Л.: Госиздат, 1939, т. 6, с. 132.
19. *Boole G.* Collected logical works. Vol. 2. The laws of thought (1854). La salle illinois, 1952, p. 1.
20. *Порецкий Л. С.* О способах решения логических равенств и об обратном способе математической логики. Казань, 1884.
21. *Крылов А. Н.* Sur un integrateur des equations différentielles ordinaires.— Изв. Акад. наук. Сер. V, 1904, т. XX, № 1, с. 17—37.
22. *Сеченов И. М.* Очерк рабочих движений человека. М.: Изд-во МГУ, 1906.
23. *Павлов И. П.* Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности (поведения) животных: Условные рефлексы. Л.: Ленмедиздат, 1932.
24. *Тьюринг А.* Может ли машина мыслить? М.: Физматгиз, 1960.
25. Автоматы: Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит., 1956.
26. *Розенблатт Ф.* Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга: Пер. с англ. М.: Мир, 1965.
27. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч., т. 20.
28. *Пойа Д.* Как решать задачу. М.: Учпедгиз, 1961.

29. Вычислительные машины и мышление. М.: Наука, 1967.
30. *Simon H. A., Newell A.* Heuristic problem solving: the next advance in operation research.— Oper. Res., 1958, vol. 6.
31. Психология мышления. М.: Прогресс, 1965.
32. *Пушкин В. Н.* Психология и кибернетика. М.: Педагогика, 1977.
33. *Глушков В. М.* и др. Системы автоматизации творческих процессов в научных исследованиях, проектировании и задачах управления роботами.— Кибернетика, 1981, № 6, с. 110—115.
34. *Поспелов Д. А.* Профессионально и проблемно ориентированные интеллектуальные системы.— В кн.: Кибернетика: Перспективы развития. М.: Наука, 1981, с. 83.
35. *Gettinger A. G.* The state of art of automatic language translation.— In: Beitrage zur Sprachkunde und Informations Verarbeitung. Münich: Oldenbourg Verl., 1963, Bd. 1, H. 2, S. 18.
36. *Вейценбаум Дж.* Возможности вычислительных машин и человеческий разум: От суждений к вычислениям. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1982.
37. *Алексеев А. Г., Юдин Б. Г.* Эволюция проблематики искусственного интеллекта.— В кн.: Кибернетика: Перспективы развития. М.: Наука, 1981.
38. *Узнадзе Д. Н.* Экспериментальные основы психологии установки.— В кн.: Экспериментальные исследования по психологии установки. Тбилиси, 1958.
39. *Колмогоров А. Н.* Предисловие.— В кн.: *Эшби У. Р.* Введение в кибернетику. М.: Изд-во иностр. лит., 1959.
40. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч., т. 21.
41. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч., т. 23.
42. *Ошанин Д. А.* Оперативность отражения в информационных процессах.— В кн.: Методологические проблемы кибернетики: Материалы Всесоюз. конф. М.: Науч. совет по пробл. «Кибернетика», 1970, т. 1, с. 290.
43. *Эйнштейн А.* Физика и реальность. М.: Наука, 1965, с. 133.
44. *Пойа Дж.* Математическое открытие: Пер. с англ. М.: Наука, 1970.
45. *Глушков В. М.* Кибернетика и искусственный интеллект.— В кн.: Кибернетика и диалектика. М.: Наука, 1978, с. 168.
46. *Саймон Г.* Мотивационное и эмоциональное управление познанием: Пер. с англ.— В кн.: Кибернетические проблемы бионики. М.: Мир, 1971, вып. 1.
47. *Симонов П. В.* О роли эмоций в приспособительном поведении живых систем.— Вопр. психологии, 1965, № 4.
48. *Эйнштейн А.* Собр. науч. тр. М.: Наука. 1967, т. 4, с. 39.
49. *Эшби У. Р.* Введение в кибернетику. М.: Изд-во иностр. лит., 1959.
50. *Колмогоров А. Н.* Жизнь и мышление как особые формы существования материи.— В кн.: О сущности жизни. М.: Наука, 1964, с. 57.
51. Кибернетика: Соврем. состояние. М.: Наука, 1980, с. 87.
52. *Zadeh L. A.* Furry sets.— Inform. and Contr., 1965, vol. 8, N 3.
53. *Девянин Е. А.* и др. Робот-манипулятор с регулируемой жесткостью.— В кн.: Исследование робототехнических систем. М.: Наука, 1982, с. 176.
54. *Девянин Е. А.* и др. Силовая обратная связь в системе управления шагающего аппарата.— В кн.: Исследование робототехнических систем. М.: Наука, 1982, с. 147.

55. *Анохин П. К.* Физиология и кибернетика.— В кн.: Философские вопросы кибернетики. М.: Соцэкгиз, 1961, с. 262.
56. *Вукобратович М.* Шагающие роботы и антропоморфные механизмы. М.: Мир, 1976.
57. *Павлов И. П.* Полное собрание трудов. М.: Изд-во АН СССР, 1949. Т. 3, с. 454.
58. *Минский М.* Фреймы для представления знаний: Пер. с англ. М.: Энергия, 1979.
59. *Шрейдер А. Ю.* О семантических аспектах теории информации.— В кн.: Информация и кибернетика. М.: Сов. радио, 1967.
60. *Поспелов Д. А., Пушкин В. Н.* Мышление и автоматы. М.: Сов. радио, 1972.
61. *Клыков Ю. И.* Ситуационное управление большими системами. М.: Энергия, 1974.
62. *Поспелов Д. А.* Большие системы (ситуационное управление). М.: Знание, 1975.
63. *Shank R., Colby K.* Computer models of thought and language. San Francisco: Freeman, 1973.
64. *Беллман Р., Заде Л.* Принятие решений в расплывчатых условиях.— В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений: Пер. с англ. М.: Мир, 1976.
65. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч., т. 46, ч. II.
66. *Берг А. И., Бирюков Б. В.* Кибернетика и прогресс науки и техники.— В кн.: Ленин и современное естествознание. М.: Мысль, 1969, с. 371.
67. *Моисеев Н. Н., Иванилов Ю. П., Столярова Е. М.* Методы оптимизации. М.: Наука, 1978.
68. *Глушков В. М.* Проблемы автоматизации дедуктивных построений.— В кн.: Управление, информация, интеллект. М.: Мысль, 1976, с. 301—313.
69. *Смолян Г. Л.* Человек и компьютер. М.: Политиздат, 1981.
70. *Леонтьев А. Н.* Автоматизация и человек.— В кн.: Психологические исследования. М.: Изд-во МГУ, 1970, вып. 2, с. 12.
71. *Цыбулевский И. Е.* Человек как звено следящей системы. М.: Наука, 1981.
72. *Ломов Б. Ф.* О путях построения теории инженерной психологии на основе системного подхода.— В кн.: Инженерная психология: Теория, методология, практ. применение. М.: Наука, 1977, с. 34.
73. *Щедровицкий Г. П.* Еще раз о распределении функций между человеком и машиной.— В кн.: Проблемы инженерной психологии: Материалы V Всесоюз. конф. по инж. психологии. М.: Наука, 1979, вып. 1, с. 61.
74. *Ленин В. И.* Полн. собр. соч., т. 1, с. 100.
75. *Рунов Б. А.* Проблемы создания и использования роботов в агропромышленном комплексе.— Механизация и электрификация сел. хоз-ва, 1982, № 1.
76. *Косачев Г. Г., Дурнев П. Е.* Экономическая эффективность роботизации сельского хозяйства.— Механизация и электрификация сел. хоз-ва, 1982, № 1.
77. *Любимов А. И.* Применение роботов в сельскохозяйственном производстве.— Механизация и электрификация сел. хоз-ва, 1982, № 1.
78. *Белоцерковский О. М., Макаров И. М.* Робототехника и гибкоперестраиваемая технология. М.: Знание, 1983.

79. *Синягов А. А.* Научно-технический прогресс в одиннадцатой пятилетке. М.: Знание, 1982.
80. *Савинов Ю. А., Чепурин М. Н.* Производство и применение промышленных роботов.— США — экономика, политика, идеология, 1981, № 12.
81. *Макаров И. М.* Перспективы развития робототехники.— Механизация и электрификация сел. хоз-ва, 1982, № 1.
82. Дистанционно управляемые роботы-манипуляторы/Под ред. Е. П. Попова, М. Б. Игнатьева. М.: Мир, 1976.
83. *Кулаков Ф. М.* Супервизорное управление манипуляционными роботами. М.: Наука, 1980.
84. *Поспелов Г. С.* Новый подход в использовании ЭВМ.— В кн.: Кибернетика: Перспективы развития. М.: Наука, 1981.
85. *Игнатьев В. Н.* Проблема человека и «мировая проблематика» (шестой доклад «Римскому клубу»).— Вопр. философии, 1981, № 3.
86. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч., т. 12, с. 4.
87. *Fromm E.* The revolution of hope. N. Y., 1968, p. 11.
88. *Miller J. S.* Man and world. N. Y., 1971, p. 40.
89. *Винер Н.* Машины изобретательнее людей? – Зарубеж. радиоэлектрон., 1964, № 7.
90. Значительная тема научных исследований.— Коммунист, 1978, № 12.
91. *Алексеев А. Г., Юдин Б. Г.* Эволюция проблематики искусственного интеллекта.— В кн.: Кибернетика: Перспективы развития. М.: Наука, 1981, с. 123.
92. *Азимов А.* Три закона робототехники: Пер. с англ. М.: Мир, 1979.
93. *Лезер Ф.* Новое в логике и возможности ЭВМ.— В кн.: Кибернетика: Соврем. состояние. М.: Наука, 1980.
94. *Гранин Д.* О времени и о человеке.— Октябрь, 1978, № 9.
95. *Винер Н.* Творец и робот: Пер. с англ. М.: Прогресс, 1966.
96. *Винер Н.* Кибернетика и общество: Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит., 1958.
97. *Фролов И. Т.* Наука — ценности – гуманизм.— Вопр. философии, 1981, № 3.
98. *Колмогоров А. Н.* Жизнь и мышление с точки зрения кибернетики.— В кн.: *Опарин А. И.* Жизнь и ее отношение с другими формами движения материи. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
99. *Макаров И. М.* Робототехника: проблемы и перспективы.— В кн.: Будущее науки. М.: Знание, 1982.


ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУКА